

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И.Сатпаева»

Горно-металлургический институт имени А.О. Байконурова

Кафедра «Горное дело»

Рәш Темірлан Жанатұлы

Совершенствование технологии строительства перегонных тоннелей Алматинского метрополи-тена с применением высокопроизводительных проходческих комплексов

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

7M07203 – «Горная инженерия»

Алматы 2023

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный
исследовательский технический университет имени К.И.Сатпаева»

Горно-металлургический институт имени А.О. Байконурова

УДК 625.42 (043)

На правах рукописи

Рәш Темірлан Жанатұлы

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

На соискание академической степени магистра

Название диссертации

Совершенствование технологии строительства
перегонных тоннелей Алматинского
метрополитена с применением
высокопроизводительных проходческих
комплексов

Направление подготовки

7M07203 – «Горная инженерия»

Научный руководитель
доктор PhD, ассоц. профессор

Искаков Е.Е.
«01» 06 2023.

Рецензент

канд. техн. наук

Бекбергенов Д.К.
«02» 06 2023 г.

Нормоконтроль

Ведущий инженер

Д.С. Мендекинова
«2» 06 2023 г.

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ

НАО «КазНТУ им.К.И.Сатпаева»
Горно-металлургический институт
им. О.А. Байконурова

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ

Заведующий кафедрой

Горное дело

д-р техн. наук, профессор

С.К. Молдабаев
«2» 06 2023 г.

Алматы 2023

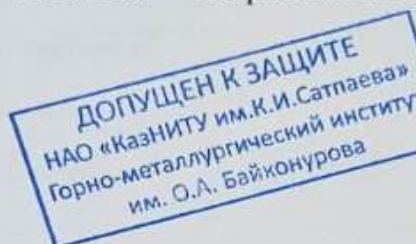
МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И.Сатпаева»

Горно-металлургический институт имени А.О. Байконурова

Кафедра Горного дела

7M07203 – «Горная инженерия»



УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой ГД
др техн. наук, профессор
Молдабаев С.К.
«02» 05 2023 г.

ЗАДАНИЕ
на выполнение магистерской диссертации

Магистранту Рәш Темірлан Жанатұлы

Тема: Совершенствование технологии строительства перегонных тоннелей Алматинского метрополитена с применением высокопроизводительных проходческих комплексов

Утверждена приказом Ректора Университета №1779-м от «02»11.2021 г.

Срок сдачи законченной работы «30» 05 2023 г.

Исходные данные к магистерской диссертации: геологические, текстовые, графические материалы по разведке, подсчету запасов и плану горных работ Алматинского метрополитена.

Срок сдачи законченной диссертации «30» 05 2023 г.

Исходные данные к магистерской диссертации: геологические, текстовые, графические материалы, план работ Алматинского метрополитена.

Краткое содержание магистерской диссертации:

а) Геологическое строение района строительства метрополитена в городе Алматы

б) Горная часть

в) Технологические вопросы ведения горных работ

г) Экономическое обоснование на основе исследований

Перечень графического материала: *График зависимости коэффициента крепости, схема технологии строительства станции с опережающей крепью.

Рекомендуемая основная литература:

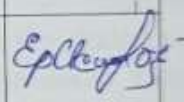
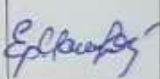
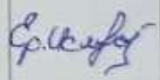
1. Лесной А.С., Ким А. С. (2018). Анализ и выбор технологии строительства перегонных тоннелей метрополитена. Вестник Казахстанской национальной академии железных дорог.

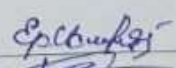
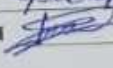
ГРАФИК
подготовки магистерской диссертации

Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю	Примечание
Объект исследования. Перегонные тоннели метрополитенов, сооружаемые с помощью ТПМК	19.01.2022г.	
Обоснование технологических схем строительства перегонных тоннелей Алматинского метрополитена с использованием ВППК	14.09.2022г.	
Технологические схемы перегонных тоннелей Алматинского метрополитена с использованием ВППК	17.04.2023г.	
Разработка системы комбинированного транспорта	20.04.2023г.	

Подписи

консультантов и нормоконтролера на законченную магистерскую диссертацию с указанием относящихся к ним разделов диссертации

Наименования разделов	Консультанты, И.О.Ф. (уч. степень, звание)	Дата подписания	Подпись
Объект исследования. Перегонные тоннели метрополитенов, сооружаемые с помощью ТПМК.	Доктор PhD, ассоц. проф. Исаков Е.Е.	26.01.2022г.	
Обоснование технологических схем строительства перегонных тоннелей Алматинского метрополитена с использованием ВППК	Доктор PhD, ассоц. проф. Исаков Е.Е.	24.09.2022г.	
Технологические схемы перегонных тоннелей Алматинского метрополитена с использованием ВППК	Доктор PhD, ассоц. проф. Исаков Е.Е.	30.05.2023г.	
Нормоконтролер	Ведущий инженер Мендекинова Д.С.	31.05.2023г.	

Научный руководитель  Е.Е. Исаков
Задание принял к исполнению обучающийся  Т.Ж. Рәш

Дата «01» 05 2023 г.

АНДАТПА

Магистрлік диссертация жоғары өнімді ұңғыма кешендерін қолдана отырып, Алматы метрополитенінің айдау тоннельдерін салу технологиясын жетілдіруге арналған. Бірінші желінің құрылысы Іле Алатауының солтүстік беткейіндегі үлкен Алматы және Кіші Алматы өзендерінің арасында орналасқан. Алматы қаласында метрополитен құрылысының ерекшелігі-оның бірқатар күрделі геотехникалық факторлары бар:

1. Қалада сейсмикалық белсенділік өте жоғары және MSK-64 шкаласы бойынша 9–10 баллға жетеді.

2. Жер бедері көлбеу, өйткені ол тау аралық ойпат аймағында орналасқан.

3. Топырақтың құрамы әр түрлі және әлсіз төзімді, қиыршық тастардың диаметрі үш метрге дейінгі тастардың қосындылары бар.

4. Станциялық туннельдер мен дистрибьюторлық станциялардың тереңдігі әр түрлі, 11 метрден және 60 метрден тұратын терең жерлері бар.

Осындай қиын жағдайларға қарамастан, қазіргі уақытта метрополитеннің бірінші тармағының екінші кезегінің құрылысы жоғары қарқынмен жүргізілуде.

Диссертацияның бірінші бөлімі аумақтың геологиясы мен метрополитенде жерасты жұмыстарын жүргізу технологиясына арналған. Екінші бөлім метро құрылысының таулы сипаттамасына арналған. Сондай-ақ метрополитенді үңгілеу кезінде заманауи технологиялар мен жабдықтарды пайдалану. Үшінші бөлімде-Технологиялық схемалар негізделіп, әзірленді және есептеулер жүргізілді. Төртінші бөлімде дистилляциялық туннельдердің жылдам жүруінен тиімділікті бағалау есептеулері берілген және дистилляцияда туннель жүргізуді жеделдету есебінен күтілетін экономикалық тиімділік көрсетілген.

АННОТАЦИЯ

Магистерская диссертация посвящена совершенствованию технологии строительства перегонных тоннелей Алматинского метрополитена с применением высокопроизводительных проходческих комплексов. Строительство первой линии расположено между рек Большая Алматинка и Малая Алматинка северного склона Заилийского Алатау. Особенность строительства метрополитена в городе Алматы заключается в том, что имеет ряд сложных геотехнических факторов:

1. Сейсмическая активность в городе очень высока и достигает 9-10 баллов по шкале MSK-64.
2. Рельеф является наклонным, так как находится в районе межгорной впадины.
3. Состав грунтов является разнообразным и слабоустойчивым, галечники имеют включения валунов почти до трех метров в диаметре.
4. Глубины заложения станционных тоннелей и перегонных станций разнообразны есть районы мелкого заложения от 11 метров и глубокие составляющие 60 метров.

Несмотря на такие трудные условия в настоящее время высоким темпом ведется строительство второй очереди первой ветви метрополитена.

Первая часть диссертации посвящена геологии территории и технологии проведения подземных работ в метрополитене. Вторая часть посвящена горному описанию строительства метрополитена. А также использованию современных технологий и оборудования при проходке метрополитена. В третьей части – обоснованы и разработаны технологические схемы, и произведены расчеты. В четвертой части даны расчёты оценки эффективности от скоростной проходки перегонных тоннелей и указан ожидаемый экономический эффект за счет ускорения проведения тоннеля на перегоне.

ABSTRACT

The master's thesis is devoted to the improvement of the technology of construction of distillation tunnels of the Almaty metro with the use of high-performance tunneling complexes. The construction of the first line is located between the Bolshaya Almatinka and Malaya Almatinka rivers of the northern slope of the Trans-Ili Alatau. The peculiarity of the construction of the subway in Almaty is that it has a number of complex geotechnical factors:

1. Seismic activity in the city is very high and reaches 9-10 points on the MSK-64 scale.

2. The relief is inclined, as it is located in the area of the intermountain depression.

3. The composition of soils is diverse and weakly resistant, pebbles have inclusions of boulders up to almost three meters in diameter.

4. The depths of the laying of station tunnels and distillation stations are diverse, there are areas of shallow laying from 11 meters and deep components of 60 meters.

Despite such difficult conditions, the construction of the second stage of the first branch of the metro is currently underway at a high pace.

The first part of the dissertation is devoted to the geology of the territory and the technology of underground work in the subway. The second part is devoted to the mountain description of the construction of the subway. As well as the use of modern technologies and equipment when passing the subway. In the third part, technological schemes are substantiated and developed, and calculations are made. In the fourth part, calculations are made to assess the efficiency of high-speed tunneling of distillation tunnels and the expected economic effect is indicated due to the acceleration of the tunnel on the stag

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	10
1 Геологическое строение района строительства метрополитена в городе Алматы	12
1.1 Географическая характеристика района	12
1.2 Геологическое строение района	14
1.3 Гидрогеология района.....	16
1.4 Инженерно-геологические изыскания при проектировании и строительстве метрополитена.....	17
Выводы по 1-разделу.	19
2 Горная часть.....	20
2.1 Инженерно-геологическое районирование трассы метрополитена.....	20
2.2 Технология проведения перегонных тоннелей	21
2.3 Оборудование и технологии для строительства.....	23
2.4 Технология строительства эскалаторных тоннелей и станций	26
2.5 Технология строительства станции с опережающей крепью	28
Выводы по 2-разделу.	29
3 Обоснование и разработка технологических схем проведения перегонных тоннелей с использованием системы комбинированного транспорта	30
3.1 Схемы транспорта, выбранные для исследований. Расчётная длина и заложение перегонных тоннелей.....	30
3.2 Анализ и обоснование параметров и производительности современных механизированных щитов при строительстве перегонных тоннелей. Производительность ТПМК.....	30
3.3 Обделка перегонных тоннелей в исследуемых схемах. Исследования рельсовых узкоколейных транспортных средств в перегонных тоннелях	39
3.4 Исследования схем организации рельсового транспорта с ТПМК КТ1-5,6. Разгрузка разработанного грунта из монтажных камер при использовании в подвижных составах вагонеток	42
Расчёт откатки электровозом К10	43
Обоснования применения оборудования для внутритоннельного транспорта к ТПМК КТ1-5,6. Обоснования и расчёты к компоновке подвижных составов транспорта.....	44
Существующая технология отгрузки породы из монтажных камер и показатели максимальной производительности ТПМК	47
3.5 Новые конструктивные предложения для разгрузки разработанного грунта из монтажных камер. Расчёты и выбор винтового конвейера (шнека)	51
3.6 Исследования и конструктивные предложения по разгрузке породы из монтажных камер к схеме с ТПМК «Херренкнехт», оборудованным конвейерным транспортом разработанной породы при глубине заложения перегонных тоннелей более 12м. Конструктивные предложения к схеме временного применения рельсового транспорта разработанной породы в тоннелях и монтажных камерах для ТПМК, оборудованных конвейерным	

транспортом.	55
3.7 Расчеты и обоснования параметров оборудования конвейерного транспорта на примере строительства левого перегонного тоннеля от	59
4 Техничко-экономические аспекты строительства перегонных тоннелей Алматинского метрополитена	63
4.1 Методика технико-экономического анализа строительства	63
4.3. Выводы по главе.....	68
Заключение.....	69
Список использованной литературы.....	71
Приложение А	72
Приложение Б	73
Приложение В.....	74

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность исследования. Создание эффективной сети транспортных коммуникаций, обладающей возможностью оперативного обслуживания мощных пассажиропотоков между промышленными зонами, жилыми районами и культурными центрами - одна из основных проблем развития современных городов.

Технология проведения перегонных тоннелей с использованием проходческих комплексов (ПК) характеризуется невысокими скоростями строительства этих тоннелей (60–80 метров в месяц). Многочисленные примеры применения зарубежных ПК показывают, что эти скорости возрастают до 400–700 метров в месяц. Это обуславливает необходимость обновления технологий и средств механизации подземного строительства.

Система комбинированного транспорта - совокупность оборудования, способов и методов использования рельсового и конвейерного транспорта, обеспечивающая оптимальное функционирование работ по перемещению разработанной ВППК породы по цепи «забой - транспорт — подъем».

Важным аспектом при повышении темпов проведения перегонных тоннелей является сокращение затрат времени на основные операции системы комбинированного транспорта с использованием рациональных конструктивно—технологических решений, а также технических и организационных мер.

Таким образом, исследования, направленные на повышение темпов проведения перегонных тоннелей метрополитенов с применением системы комбинированного транспорта, могут быть объективно признаны актуальными.

Целью работы является обоснование и совершенствование технологических схем строительства перегонных тоннелей Алматинского метрополитена с использованием ВППК, обеспечивающей повышение темпов и снижение сроков строительства. Идея работы заключается в изменении традиционно применяемой технологии транспортирования разработанной породы и формировании рациональных сочетаний, составляющих системы комбинированного транспорта для повышения темпов проведения перегонных тоннелей метрополитенов.

Объектом исследования являются перегонные тоннели метрополитена, сооружаемые с помощью ТПМК.

Предметом исследования являются методы обоснования высокопроизводительных технологических схем по совершенствованию системы комбинированного транспорта.

Научные положения, выносимые на защиту:

1. Формирование системы транспорта при строительстве перегонных тоннелей метрополитенов щитовым способом следует осуществлять с использованием оборудования по разработанным технологическим схемам.

2. При проведении перегонных тоннелей в вязких и водонасыщенных грунтах целесообразно применять ВППК с роторными рабочими органами с 6

использованием системы комбинированного транспорта, что обеспечит повышение показателей по организационным и экономическим критериям.

3. Для обоснования параметров ленточных конвейеров использован современный метод тягового расчета, основанный на исследовании отдельных составляющих общей силы сопротивления движению на единичной роликоопоре с последующим интегрированием этой силы по длине конвейера.

Научная новизна работы состоит в обосновании параметров технологических схем проведения перегонных тоннелей метрополитенов ТПМК, позволяющих осуществлять комплексное, рациональное управление процессами транспортировки разработанной породы с использованием системы комбинированного транспорта.

Научное значение работы состоит в разработке и обосновании критериев и технологических требований для повышения производительности ТПМК при проведении перегонных тоннелей метрополитенов с использованием системы комбинированного транспорта.

Практическое значение работы заключается в разработке технологических схем проведения перегонных тоннелей метрополитенов, что позволяет повысить темпы и снизить сроки их строительства.

Структура диссертационного исследования подчинена поставленным целям и задачам и отражает логику работы. Она состоит из введения, четырех разделов, разбитых, в свою очередь, на подразделы, заключения и списка использованной литературы.

1 Геологическое строение района строительства метрополитена в городе Алматы

1.1 Географическая характеристика района

Алматы, это город, расположенный на юго-востоке Республики Казахстан в самом центре Евразийского континента, географические координаты которого: 43°N (северной широты) и 77°E (восточной долготы), на северном хребте Тянь-Шаньских гор Заилийского Алатау. Как и все горные системы, Тянь-Шаньские горы имеют широтное простираие. Северный Тянь-Шань имеет гребни хребтов свыше 4000 метров значительного протяжения, которые приходятся на территорию Заилийского Алатау, наивысшая точка составляет 4975 метров (пик Талгар). Вершины хребтов снежные и обледенелые, чередуются глубокими ущельями и впадинами.

Городские улицы простираются в основном на север и достигают высоты в 500 метров над уровнем моря, где климат заметно жарче и почвы в основном степные и даже полупустынные.

На юге же ближе к горам жилые массивы, расположенные в Каменском Плато и близ Медео, достигают отметки в 1800 метров над уровнем моря, здесь же климат намного прохладнее, где сказывается непосредственная близость ледников особенно в вечернее время.

Животный и растительный мир близ города Алматы очень разнообразен, здесь обитают разнообразные звери и птицы, многие из которых являются редкими и занесены в Красную книгу Казахстана. Поэтому здесь организован Иле-Алатауский национальный парк, что является территорией заказников и заповедников, что показано на рисунке 1.1.



Рисунок 1.1 – Южная столица Казахстана г. Алматы

В предгорных районах свыше 8000га выделены для выращивания разнообразных садовых культур такие как, разнообразные яблоневые сады, где также выращивают знаменитый Апорт, табак и виноградники, а также ягоды.

Так же здесь же в предгорных районах, в поймах горных рек разводят радужную форель и организуют места отдыха, что на сегодняшний день является очень популярным так как здесь можно подышать наивсвежайшим горным воздухом, а также отдохнуть от городской суеты. Обзорная карта района ведения метрополитена приведена на рисунке 1.2.



Рисунок 1.2 – Обзорная карта метрополитена г. Алматы

Климат г. Алматы резко континентальный с большим перепадом суточных и годовых температур воздуха, а также из-за смен геоморфологических критериев и гипсометрического положения отдельных участков образовались зоны со своим микроклиматом. Данное отличие особенно проявляется между южной равнинной зоной и северной горной местностью. Средняя температура воздуха за год $8,7^{\circ}\text{C}$, наиболее холодным является январь со средней температурой воздуха $-7,9^{\circ}\text{C}$, самым теплым – июль со средней температурой воздуха $+23^{\circ}\text{C}$.

Абсолютный минимум в январе -38°C , абсолютный максимум зарегистрирован в июле $+42^{\circ}\text{C}$. Продолжительность периода, с отрицательной температурой воздуха, составляет 124 суток. Амплитуда колебаний суточной температуры воздуха составляет $23,5^{\circ}\text{C}$.

Количество осадков за год – 629 мм, из них в виде дождя 541мм. Снежный покров устойчиво образуется в декабре и разрушается в марте. Средняя

толщина снежного покрова достигает до 30 см. Нормативная глубина промерзания крупнообломочных грунтов до 126 см, связных грунтов – 86 см, вечномерзлых грунтов нет.

В ветровом отношении г. Алматы относится к спокойным, преобладающими ветрами юго-западного направления с максимальными скоростями от 1,9 м/сек – зимой, до 28 м/сек – летом.

Ветра на территории г. Алматы очень разнообразны. В предгорной зоне они чаще юго-восточные и южные, а в равнинных дуют чаще юго-западные ветры. В горах ветры так же разнообразны по времени суток, если днем они дуют с равнинной части вдоль ущелий с севера на юг, то вечером они дуют с преобладающе с гор, с юга на север [1].

1.2 Геологическое строение района

Город Алматы расположен в пределах полого-наклонной равнины, вытянутой вдоль северного хребта Заилийского Алатау. Геология Заилийского Алатау является весьма сложной и разнообразной. Их состав обусловлен интрузивными магматическими породами расплавленной, а затем застывшей магмы, такими как граниты, гранодиориты, сиениты, диориты и мощные глубинные осадочные породы, представленные глинами, лёссовидными суглинками, известняками и галечниками. Осадочные породы чаще образуются в результате разрушения, образования магматических пород и их отложения, естественного процесса гниения останков животных и растений. А также встречаются метаморфические горные породы — сланцы, гнейсы и липариты, изменённые движением земной коры, глубинным давлением, действием подземных газов и растворов осадочные и интрузивные породы, залегающие на глубоких горизонтах.

В центральной части хребта, в частности в ущелье малая Алматинка часто встречаются крупнозернистые серые граниты. На хребте Заилийского Алатау очень часто встречаются розовые и красные граниты. Не редко можно встретить на горных склонах в виде крупнообломочного щебня результаты разрушения гранита, суглинки и супеси. На высокогорных пастбищах Джайлау, можно встретить равнинные участки со скалами, имеющих следы повреждения от древних ледников, а также горные породы более молодой, кайнозойской эры валунно-галечники, галечники и глины [2].

Наиболее широко распространены вулканические породы – порфиры, порфириты и туфолавы ниже каменноугольного возраста (C_{IV-II} и $C_{I t-VKl2}$), а также среднекаменноугольные интрузии, в основном гранодиориты. В горах идут интенсивные процессы физического и химического выветривания, многочисленные делювиальные осыпи, обвалы. Широкое развитие имеют тектонические нарушения.

Район предгорной ступени в геологическом отношении представляет тектонически взброшенный блок впадины, сложенной в основном скальными

породами палеозоя и рыхлыми валунно-галечниковыми и лессовыми породами неогенового и нижнечетвертичного возраста. Со скальными породами горного массива отложения предгорной ступени имеют тектонический контакт. Выделяются два геоморфологических уровня.

Заилийский Алатау, расположенный близ города Алматы, представляет из себя мощный хребет со снежными шапками состоящих из ледников и снежных вершин. Южная сторона Заилийского Алатау представляет из себя очень крутой склон, имеет меньше ущелий. Северный же склон Заилийского Алатау напротив имеет не сметное количество ущелий с глубокими рытвинами и углублениями, а также имеет боковые отростки так называемые «прилавки», из не больших хребтов: Талгарский, Новый, Малая Алматинка и Кумбель.

У основания образовались мощные аллювиальные и делювиальные отложения селевых потоков и конусов выноса рек, составляющие слегка наклонную равнину на север, на которой расположены города и села, и сам город Алматы, что показано на рисунке 1.3.

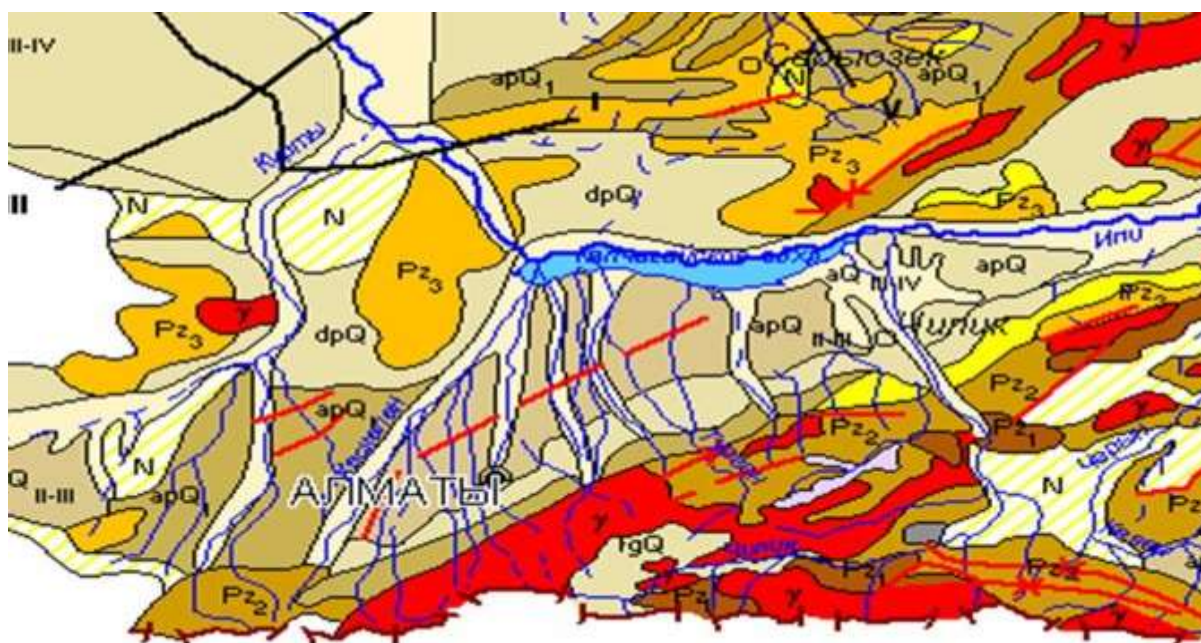


Рисунок 1.3 – Геологическая карта района г. Алматы

Наиболее широко распространены вулканические породы – порфиры, порфириты и туфолавы нижнекаменноугольного возраста (C_{IV-II} и $C_{I-t-VKt2}$), а также среднекаменноугольные интрузии, в основном гранодиориты. В горах идут интенсивные процессы физического и химического выветривания, многочисленные делювиальные осыпи, обвалы. Широкое развитие имеют тектонические нарушения.

Район предгорной ступени в геологическом отношении представляет тектонически взброшенный блок впадины, сложенной в основном скальными

породами палеозоя и рыхлыми валунно-галечниковыми и лессовыми породами неогенового и нижнечетвертичного возраста. Со скальными породами горного массива отложения предгорной ступени имеют тектонический контакт. Выделяются два геоморфологических уровня.

1.3 Гидрогеология района

Склоны хребтов имеют многочисленные борозды эрозии, на которых не редки явления снежных лавин и водные потоки, нередко вызывающие оползневые сходы и даже в сели, обозначая что данная эрозия, образованная ледниками и горными водными потоками является причиной образования крупных ущелий и их более мелких ответвлений, что и явилось основным фактором образования рельефа Заилийского Алатау.

Исходя из выше изложенного очевидно, что Гидрографическая инфраструктура северной части склонов Заилийского Алатау района развита хорошо и состоит из двенадцати малых и больших рек которые берут свое начало на вершинах состоящих вечных ледников и снежных шапок на высоте более 2000 метров, и на равнине где подземных воды берут свое начало в зоне выклинивания и конусов выноса на высоте менее чем 1000 метров.

Первый тип рек – горный, второй – предгорный и третий – равнинный. Реки этих типов отличаются источниками питания и режимом. Высота водосбора является главным фактором, от которого в основном зависит тип реки, характер питания, и её режим.

Почвы и растительность в пределах района разнообразны. На равнине – это сероземы, пухлые солончаки, лугово-болотные и болотные почвы. Растительность камышовая, тростниковая, кустарниковая. Древесная растительность распространена в прирусловой полосе.

Горная часть территории характеризуется быстрой сменой ландшафтов в вертикальном направлении. Светло-каштановые почвы с кустарниковой и травянистой растительностью развиты в пределах отметок от 1000 до 1800 метров над уровнем моря.

Город Алматы расположен в пределах полого-наклонной равнины, вытянутой вдоль северного хребта Заилийского Алатау. Южные кварталы его расположены в пределах низкогорья, северные - размещаются на полого наклонной равнине. Уклон поверхности до 5° на север. Рельеф слабоволнистый, с останцевыми буграми и грядами, а также неглубокими, в значительной степени спланированными, оврагами и долинами мелких речек. Вдоль трассы линии метрополитена, между проспектом Абая и Райымбека, перепад отметок поверхности достигает 100м, а уклон поверхности – 0,035°. По расположенному в субширотном направлении проспекту Абая перепад отметок поверхности между станциями Абай и Алатау – 46,5м.

Пересекаемые трассой метрополитена долины рек Весновка и Поганка не широкие и оформленные железобетонными лотками.

Геолого-геоморфологические условия территории города во многом

определяют закономерности распространения, залегания, формирования подземных вод [3].

Территория г.Алматы и его окрестностей делится на площади, испытавшие поднятия (горный район, верхняя предгорная ступень, нижняя предгорная ступень) и площадь относительного опускания – Илийская впадина (предгорная наклонная равнина и предгорный шлейф).

Горный район в бассейнах рек Малой и Большой Алматинки, Аксая и Каскеленки отличается крутосклонным рельефом, глубоким врезом речных долин. Здесь на поверхности обнажаются скальные палеозойские породы.

1.4 Инженерно-геологические изыскания при проектировании и строительстве метрополитена

Основной задачей инженерно-геологических изысканий для обоснования проектирования и строительства метрополитена являлся комплекс мероприятий для изучения геологических характеристик района, позволяющее правильно и экономично запроектировать, построить и эксплуатировать метрополитен. В результате изысканий должна быть получена информация о строении и составе горного массива, о гидрогеологической обстановке.

На основе данного комплекса работ по инженерно-геологическому изысканию произвелась разработка предпроектной документации для осуществления строительства не только метрополитена, но также проектная и рабочая документация для гражданского и промышленного строительства и возможность

Инженерно-геологические изыскания были необходимы и обоснованы для детальной геологической, физико-механической и гидрогеологической изученности данного участка производства работ. Данные виды работ помогли выявить характеристики грунтов и их несущей способности, а также коррозионной активности для прогноза их изменчивости при строительстве и эксплуатации проектируемых зданий и сооружений, был разработан комплекс мероприятий по защите конструкций от неблагоприятных влияний геологической среды и физико-геотехнических процессов. По полученным данным были определены наиболее целесообразные и экономически выгодные конструкции и глубины заложения фундаментов, где были учтены все неблагоприятные факторы, которые могут оказать влияние на строительство и эксплуатацию зданий и сооружений.

Так для проектирования и строительства по данным инженерно-геологических изысканий, застройщику выдается технический отчет, где содержатся сведения, рекомендации прогнозы и выводы о: физико-географических условиях, геологическое и литологическое описание пород, гидрологические и физико-геологические процессы, физико-геотехнологические свойства грунтов, свойства воды и её влияние на коррозию и эрозию пород и т.д. [4].

Для начала производства полевых работ необходимо всесторонне изучить все имеющиеся материалы по геологическим изысканиям прошлых лет,

чтобы определить характер, границы и предназначение участков, ранее проведенных геологических и гидрогеологических исследований, определить организации и исполнителей, а также определить период производства и основные задачи и результаты работ, возможности их применения для данных инженерно-геологических изысканий. Данные прошлых лет могут быть пригодны для уточнения и прогноза процессов дальнейшего развития в сферах взаимодействия геологической среды и искусственных сооружений.

Рекогносцировка, обследование, аэро и пешие маршрутные наблюдения проводятся для того, чтобы:

- обосновать границы, расширения или сужения при необходимости границ и территории проведения геологических изысканий;
- определить категорию сложности природных и техногенных условий, а также детальность работ по изысканию, определить объемы, состав, технологии и методы выполнения геологических изысканий (с учетом всех требований заказчика), мест и пунктов выполнения каждого из видов изыскательских работ, а так же последовательность их выполнения, обосновать применения современных не стандартных приборов, технологий и методов производства геологических изысканий в различных природных и геотехнических условиях для проведения строительства;
- установить характеристики и параметры отдельных компонентов природной среды и происходящих в ней процессов на территории и в пределах зоны предполагаемого воздействия (по объектам, отнесенным к экологически опасным видам хозяйственной деятельности, а при необходимости и по другим объектам);

Цель осуществления проходки горных выработок (скважины, шурфа):

- установить или уточнить геологический разрез, условия расположения грунтов, а также грунтовых вод;
- определить показатель глубины распределения грунтовых вод; провести отбор грунтовых образцов, чтобы определить их состав, состояние и свойство, и провести отбор проб грунтовых вод для химической аналитики;
- провести полевые исследования, направленные на изучение свойств грунтов, изучить гидрогеологические параметры водоносных горизонтов, а также зон аэрации;
- выявить и разграничить зоны выраженных как инженерно-геологических, так и геологических процессов.

Для того, чтобы определить характеристики в сфере взаимосвязи планируемого объекта с геологическими недрами, вскрытые выработкой водоносных горизонтов, которые оказывают влияние на строительство и (либо) эксплуатацию предприятия, здания и сооружения производят *гидрогеологические исследовательские работы*.

Исследовательские работы выполняют на поле (однократная и кустовая откачки, наливов и другие) и в лаборатории, чтобы для определить:

- расположение глубины уровня подземных вод;

- распределение, условия возникновения, ресурсы питания, химическую структуру подземных вод;

фильтрационные характеристики запасов водовмещающих осадков, соотношение промеж отдельных водоносных горизонтов, равно как иных гидрогеодинамических и гидрогеологических границ;

Лабораторно - изысканные работы выполняют с целью определить характеристики состояния, состава, химических и физико-механических свойств, для того чтобы определить классы, типы, виды и разновидности грунтов согласно ГОСТ 25100–95, установить их нормативные и расчетные характеристики, пространственную изменчивость.

Полевые изысканные исследования. Полевые изысканные исследования (в сочетании с лабораторными и (либо) геофизическими изысканиями)

проводят чтобы:

- оценить массив грунтов, изучить расчленение геологического разреза, оконтуривание линз и прослоек незначительных грунтов и др;

- установить физические, деформационные и прочностные характеристики грунтов в естественных условиях залегания;

- оценить пространственную изменчивость характеристик грунтов;

- оценить возможность погружения свай глубоко в грунт и несущую способность свай;

- провести стационарные наблюдения за изменчивостью во времени физических и механических характеристик как насыпных, так и намывных, грунтов;

- определить динамическую устойчивость грунтов, насыщенных водой.

Геофизические изысканные исследования проводят, чтобы изучить физические (гравитационные, магнитные, электрические, упругие колебания, термические, ядерные излучения) поля.

В основе всех видов геофизических изысканных исследований лежит применение физико-математических концепций для того, чтобы разработать их теорию, электронное высокоточное оборудование в комплексе с радиотехникой, точечной механикой и оптикой для полевых замеров, вычислительной техникой, в том числе новейшей электронно-вычислительной машиной для обрабатывания результатов.

Выводы по 1-разделу.

Исследовательские работы грунтов, направленные на изучение оснований построенных строений и сооружений, проводят для того, чтобы установить изменения геологических свойств во время эксплуатирования строений и сооружений, в том числе изменений гидрогеологического состояния, прочностного и деформационного характеристик и свойств грунтов.

2 Горная часть

2.1 Инженерно-геологическое районирование трассы метрополитена

Инженерно-геологическое строение трассы метрополитена сложное. Выполненные инженерно-геологические изыскательные работы позволили строителям метрополитена произвести инженерно-геологическое районирование трассы и выделить по геологическому происхождению, гидрогеологическим условиям, литологическому строению инженерно-геологические районы.

Участок наклонной равнины расположен в пределах ПК 0+00 до ПК 6+00 и района расположения депо. Грунтовые воды вскрыты на глубине от 3,9м до 15,85м. Инженерно-геологические условия строительства – неблагоприятные.

Участок периферийной части конуса реки Малая Алматинка расположен в пределах от ПК 6+00 до ПК 12+00 полого наклонной равнины. Сверху выработками вскрыты покровные суглинки мощностью до 1,5м с постепенным выклиниванием на юг. Суглинки желтовато-бурого цвета, полутвердой консистенции, макропористые, просадочные с редкими включениями гравия и гальки [5].

Ниже вскрыты галечниковые грунты аллювиально-пролювиального происхождения с включением валунов размером до 200-300мм до 15% от общего объема грунта, с песчано-суглинистым заполнителем. При прохождении отдельных шурфов ниже 15м были вскрыты нагромождения валунов с супесчаным заполнителем и отдельных крупных валунов селевого происхождения, т.е. территория сложена галечниковым грунтом, в составе которого обнаруживаются крупные валуны, размер которых составил 200- 400 мм (рисунок 2.1).



Рисунок 2.1 – Галечники с песчаными заполнителями

Участок конуса выноса реки Малая Алматинка расположен в пределах ПК 12+00 – ПК 41+00. Поверхность участка имеет значительный уклон. Участок с поверхности сложен слоем покровных суглинков мощностью до 6,0м.

Суглинок твердой консистенции, макропористый, желто-коричневого цвета с включением гравия и гальки до 10%, карбонизированного, аллювиально-пролювиального происхождения, верхнечетвертичного возраста.

Подстилают суглинки валунно-галечниковые грунты большой мощности, маловлажные, аллювиально-пролювиального происхождения, верхнечетвертичного возраста.

В основном это отложения селевых потоков, на это указывает содержание валунов большого размера от 400 до 700 мм, до 20–25% от общего объема грунта. В таких трудных условиях началась проходка первой ветви метрополитена в 1988 году (рисунок 2.2).



Рисунок 2.2 – Проходка первой ветви метрополитена (Алматы, 1988 г)

Петрографический состав грунта в основном граниты, гран диориты светло-серого цвета. Валуны прочные, крепкие, но встречаются отдельные выветрелые до состояния рухляка. Грунтовые воды на данном участке залегают на глубине 47,0–91,0 м

Бурение проводилось станками УКС-22 ударно-канатным способом. Начальный диаметр бурения был принят 325мм с выходом колонны не более 25м. Общий объем составил 1714м². На участках открытого способа строительства метрополитена проходились шурфы (шахты) глубиной до 20,0м сечением до 6,0м общим объемом 220,0м [6].

2.2 Технология проведения перегонных тоннелей

Ключевым условием, гарантирующим увеличение эффективности труда

в тоннельном строительстве, быстрое увеличение проходки и, в итоге, снижение затрат на строительство, является глобальная механизация тоннельной работы. Имеется в виду механизация основных процессов проходки тоннеля, в которой все используемые механизмы и аппаратные устройства обусловлены единым механизированным комплексом, который сосредоточен в головном участке строящегося тоннеля.

Механизированный проходческий комплекс дает возможность механизировать все основные операции (разработка грунта, загрузка грунта на транспорт, постройка обделки, первичная закачка) и по максимуму сочетать их во временном промежутке. В полной мере принцип глобальной механизации осуществляется при проходке тоннелей, где имеются механизированные щиты. В состав работ по проходке тоннеля механизированным щитовым комплексом входят разработка грунта в забое, его выдача от щита и подача на транспорт, постройка обделки, первичная и контрольная закачки за обделку, гидроизоляционные работы.

В соответствии с этим в состав технологического комплекса включают механизированный щит с устройствами для выдачи грунта, укладчик обделки (или оборудование для возведения монолитно-прессованной обделки), транспортный мост с установленным на нем ленточным конвейером и бункером для грунта, технологические тележки для нагнетания и гидроизоляционных работ, раствор нагнетателей, грузоподъемные механизмы (рисунок 2.3).



Рисунок 2.3 – Проходка забоя механизированной крепью ЩН-1С.

На рисунке 2.4 приведена схема проходки забоя тоннеля механизированным щитом КТ-5,6.



Рисунок 2.4 - Проходка забоя механизированным щитом КТ-5,6.

Выгрузка грунта осуществляется конвейерным способом, где грунт по ленте доставляется в грузовую машину.

2.3 Оборудование и технологии для строительства

Для того, чтобы ввести в эксплуатацию станции первой линии метрополитена в положенный срок специалисты АО «Алматыметрокурлыс» использовали инновационные оснащения и новейшие строительные технологии. На территории стран СНГ впервые при строительстве станции пилонного типа «Жибек Жолы» был внедрён ново-австрийский тоннельный метод (НАТМ). Такой же метод был применен при строительстве других четырёх станций метро.

В ходе проектной проработки строительства станции пилонного типа «Жибек Жолы» проводились исследования по изучению напряженно-деформационного положения обделки тоннелей станции, а также определялся характер ее взаимодействия с грунтом на разных этапах строительства действенным, проверенным и универсальным методом физического моделирования - использование равноценных материалов. Данный метод дал возможность выделить точки с наивысшими показателями сжимающих и растягивающих напряжений в обделке и принять это во внимание в момент армирования обделки (рисунок 2.5).



Рисунок 2.5 - Проведение бурения труб защитного экрана оборудованием.

Метод НАТМ позволил: соорудить ведущие несущие конструкции станций глубокого заложения в очень короткий срок в сравнении с принятыми методами строительства при минимальных осадках дневной поверхности, минимизировать риски работников и повысить их безопасность.

В результате использования этого метода обороты проходки тоннелей станции, в промежутке крепления, достигнуты более чем 24 погонных метров в месяц, а при сооружении постоянной обделки - не менее 30 погонных метров в месяц.

Благодаря сейсмическим тоннельным конструкциям, разработанным институтом СНГ ОАО ЦНИИС «Тоннели и метрополитены» (РФ, г. Москва), являющимся ведущим в данной сфере и внедрению передовых разработок австрийской компании Beton und Monierbau при строительстве станций тоннелей обеспечена безопасность метрополитена (рисунок 2.6) [8].



Рисунок 2.6 - Самоходная станция опалубки и постоянная обделка боковых стен тоннелей

В метрополитене г. Алматы строительство проводили без использования рельсовых транспортных средств. Так были использованы самоходные техники: автоматизированные самосвалы КамАЗ грузоподъемностью 12 тонн, малогабаритные самосвалы РАУС и машины ПД-2, ЛК-1 (рисунок 2.7) при работах, связанные с вывозом грунта, доставкой материалов.



Рисунок 2.7 - Транспортная машины PAUS и автосамосвал ТСШБ



Рисунок 2.8 - Бетоно-транспортная машина на базе ТСШ-46

Высокопроизводительный тоннеле - проходческий комплекс с конвейерным транспортированием грунта, ново-австрийский тоннельный метод при строительстве станционных комплексов позволили в значительной мере укоротить время сооружения первой очереди алматинского метрополитена (рисунок 2.9).

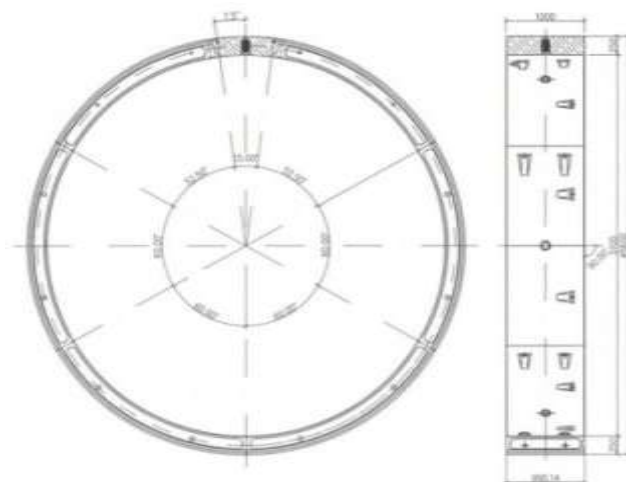


Рисунок 2.9 - Высокоточная ж/б обделка тоннеля

Несмотря на сложные условия проходки, в настоящее время высоким темпом ведется строительство второй очереди первой ветви метрополитена. Это - станция «Сайран», расположенная между улицей Тлендиева и улицей Брусиловского и станция «Москва» - между улицей Утеген Батыра и проспектом Алтынсарина. Сегодня на станциях «Москва» и «Сайран» ведется работа по возведению основных конструкций станций.

По расчетам, в 2016 году пассажиропоток должен был увеличиться в три раза - с 22–25 тысяч до 60-70 тысяч. После ввода двух новых станций пассажиропоток увеличится на 20 %. Это немного, но две новые станции метро Алматы были запущены в эксплуатацию 18 апреля 2015 года. Отметим, станция "Сайран" является следующей после "Алатау" и затем идет станция "Москва" [9].

2.4 Технология строительства эскалаторных тоннелей и станций

Сооружение эскалаторных комплексов. Эскалаторный комплекс предназначен для связи станции метрополитена глубокого заложения с поверхностью земли. В состав эскалаторного комплекса (рисунок 2.10) входят: эскалаторный тоннель 2, натяжная камера 1, наземный 3 или подземный 7 вестибюли, в нижней части которых находится машинное помещение 4 эскалаторов. Подземный вестибюль устраивают в том случае, когда выход на поверхность предусмотрен через под уличный переход.



Рисунок 2.10 - Эскалатор станции Алатау

При глубоком заложении станции, когда осуществить ее связь с поверхностью земли одним маршем эскалаторов невозможно, устраивают двамарша эскалаторов, которые сопрягаются в единый комплекс через промежуточный подземный вестибюль.

Работы по сооружению эскалаторных комплексов относятся к наиболее сложным и ответственным, что в первую очередь связано с необходимостью их выполнения вблизи зданий и сооружений городской застройки. К особенностям сооружения эскалаторных комплексов относится наклонное (под 30° к горизонту) расположение эскалаторного тоннеля большого диаметра (10,5 м).

Длина проходки по каждому слою в 2 раза больше, чем толщина слоя. Вторая особенность сооружения эскалаторных комплексов обусловлена необходимостью выполнения всех работ по проходке эскалаторного тоннеля и возведению наземного или подземного вестибюля на одной строительной площадке.

При сооружении эскалаторных комплексов применяют две схемы организации работ: последовательную и параллельную. По первой схеме вначале проходят эскалаторный тоннель, натяжную камеру, устраивают сопряжение между ними, а затем сооружают машинное помещение и вестибюль. При такой схеме упрощается ведение подготовительных и основных проходческих работ, исключаются взаимные помехи их выполнения и загромождение строительной площадки материалами и оборудованием.

Но в этом случае разрыв между окончанием проходки эскалаторного тоннеля и натяжной камеры и началом работ по сооружению машинного помещения может доходить до двух лет и более, что задерживает пуск станции, а следовательно, и всей линии метрополитена в эксплуатацию. По второй схеме работы по сооружению эскалаторного тоннеля, машинного помещения и вестибюля совмещают, что позволяет на 35-40 % сократить срок строительства всего эскалаторного комплекса.

Все пустоты за обделкой заполняют бетоном или цементно-песчаным

раствором. Для закрепления и точной фиксации в пространстве первых постоянных колец обделки эскалаторного тоннеля в их пределах сооружают временный железобетонный оголовок, который затем включают в единую железобетонную конструкцию вестибюля. Первое постоянное кольцо обделки эскалаторного тоннеля фиксируют к железобетонному оголовку посредством стальных диафрагм, заанкеренных в конструкцию оголовка. И другое решение, когда первые два кольца обделки эскалаторного тоннеля закрепляют в бетонном кольце анкерами, поставленными через отверстия в оболочке тубингов. Первое кольцо связывают с временными полукольцами болтами. В зависимости от грунтов в основании наклонного котлована временные кольца укладывают непосредственно на грунтовое основание наклонного котлована с последующим заполнением пустот за полукольцами бетоном или цементно-песчаным раствором, либо на бетонную подушку с постановкой стальных анкеров через отверстия в оболочке тубингов.

Возможен вариант организации работ, при которой проходку нижнего эскалаторного тоннеля ведут через верхний эскалаторный тоннель, устраивая в промежуточном вестибюле перегрузочный узел.

Подготовительные работы. Подготовительные работы выполняют в два этапа. В состав работ первого этапа входят отвод и освоение строительной площадки, бурение скважин и их оборудование колонками.

Котлованы под машинное помещение имеют значительную глубину, особенно при подземном расположении вестибюля, и в большинстве случаев залегают в слабых грунтах ниже уровня грунтовых вод. Учитывая близкое расположение зданий городской застройки, котлованы раскрывают с вертикальными стенами, которые закрепляют свайным ограждением.

Если ширина кольца обделки равна 1 м разработку грунта в забое осуществляют заходками на одиночное кольцо, однако если ширина кольца обделки составляет 0,75 м разработку осуществляют заходками на одиночное или парные кольца (количество колец зависит от постоянства и стабильности грунта в забое).

Способ разработки зависит от крепости грунта. Разработку грунта начинают выполнять в верхнем участке забоя с выдвижных площадок эректора. Если разработка идет нормально, то грунт сбрасывается на отдельную погрузочную площадку, которая подвешена к дну эректора. Платформа представляет собой сборную раму из швеллеров, покрытую стальным листом и имеющую в середине люк, под которым устанавливают опущенный в забой скип. Скотившийся по наклонной плоскости забоя разрабатываемый грунт при частичной подправке его лопатками попадает через люк в скип [10].

2.5 Технология строительства станции с опережающей крепью

Строительство станции начинают с сооружения опор свода, в предварительно пройденных перегонных тоннелях. Перед бетонированием каждой за-

ходки устанавливаются арматурные сетки и закладные элементы в стене будущей опоры. Вслед за бетонированием опор свода и набором бетоном необходимой прочности, укладывается балластный слой и монтируется рельсовый путь для проходческого полка и опалубки.

Далее под прикрытием экрана проходят калотту при помощи тоннельного экскаватора, который только разрушает породу, погрузка ведется погрузо-доставочной машиной в шахтные самосвалы, передвигающиеся по опорным тоннелям.

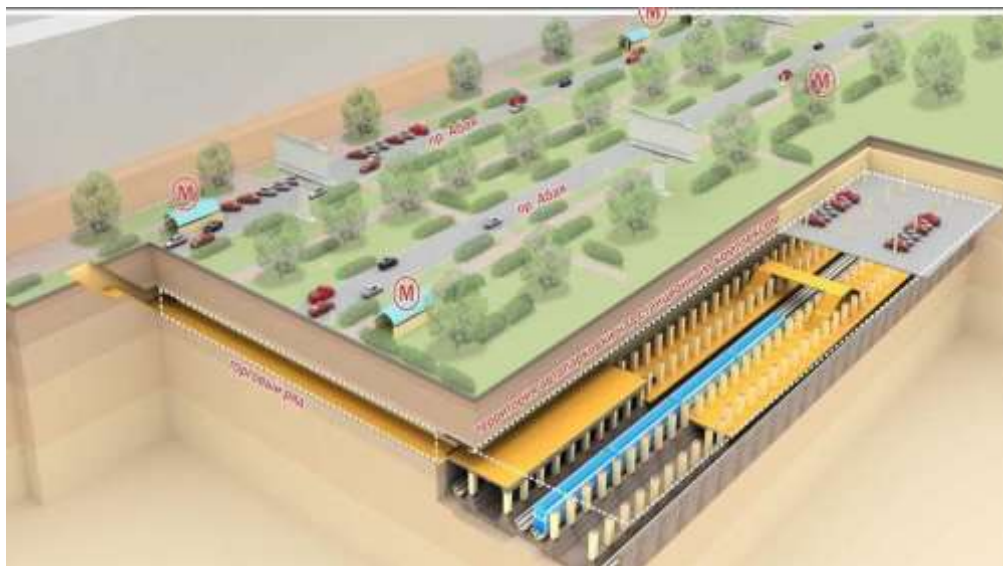


Рисунок 2.11 – Схема технологии строительства станции опережающей крепью

Параллельно с креплением содовой части и с отставанием от ее забоя на 30м ведется отработка штроссы с применением того же оборудования, что и при проходке калотты. Параллельно с разработкой штроссы производится возведение жесткого монолитного основания обратного свода. Далее производятся работы по возведению платформы, монтаж путей, отделочные и другие работы [11].

Выводы по 2-разделу.

Благодаря передовым технологиям проходки тоннелей и применению современного оборудования удалось провести горные работы по строительству подземной части первой ветки метрополитена максимально быстро и в сжатые сроки. А также были соблюдены меры по дальнейшей безопасной эксплуатации данных горных выработок.

3 Обоснование и разработка технологических схем проведения перегонных тоннелей с использованием системы комбинированного транспорта

3.1 Схемы транспорта, выбранные для исследований. Расчётная длина и заложение перегонных тоннелей

Рельсовый транспорт для разработанного грунта исследуется в схеме с применением ТПМЕС КТ1—5,6, оборудованного роторным рабочим органом. Для этой схемы применяется типовое отечественное оборудование подвижных составов по тоннелю и разработаны новые конструктивные технические решения транспортировки разработанного грунта из монтажных камер.

Исследуются две технологические схемы для сооружения перегонных тоннелей ТПМК «Херренкнехт» с применением комбинированного транспорта породы:

Схема при заложении тоннелей более 12м, когда магистральный и отвалный конвейеры не могут быть использованы для транспортировки разработанного грунта.

Схема, когда конвейерный транспорт временно неэффективен на отдельных участках трассы при разработке ТПМК вязких и липких грунтов.

В работе выполняются расчеты и обоснования параметров оборудования конвейерного транспорта применительно к ТПМК на примере схемы строительства левого перегонного тоннеля от ст. до станции.

При исследованиях схем с использованием ТПМК «Херренкнехт» оборудование для рельсового транспорта рассматривается в том виде, в котором оно было поставлено в комплекте при закупке. Конвейерное оборудование разработано фирмой «H+E Logistik».

При исследованиях схем рельсового транспорта принимается расчётная длина перегонных тоннелей 1600м.

Разработанные технологические схемы проведения перегонных тоннелей универсальны, т.е. они могут использоваться на линиях⁴ метрополитена как мелкого, так и глубокого заложения.

3.2 Анализ и обоснование параметров и производительности современных механизированных щитов при строительстве перегонных тоннелей. Производительность ТПМК

Проведение перегонных тоннелей ТПМК осуществляется в сложных инженерно-геологических условиях строительства, где разрабатываемые горные породы неоднородны.

Разновидность свойств горных пород, разрабатываемых в тоннелях ТПМК, требует для выбора и успешной их работы методов решений расчётных инженерных задач применительно к определению параметров ТПМК и их производительности:

- сопротивлений сил трения между оболочкой щита и средой;
- сопротивлений продвижения по режущей кромке;
- сопротивлений продвижению щита в сечении лба тоннеля, возникающих из-за полок и инструментов для разработки грунта;
- сопротивлений продвижению ТПМК, возникающих из-за его маневров.

Эти методы расчётов основаны на исследованиях строения массива горных пород, структурно-текстурных особенностях горных пород и их состава, чем занимаются научные учреждения, решающие вопросы раздела механики горных пород. Методы исследований в механике горных пород постоянно совершенствуются и в них используется накопленный богатейший опыт строительства тоннелей.

Макронеоднородность, характерная при напластовании в забое различных горных пород, часто резко отличается между собой по происхождению, минералогическому составу, структурным показателям и трещиноватости. На стадии подготовительных работ такие условия требуют расчленения породы на инженерно-геологические слои, позволяющие обоснованно определять расчётные показатели пород для их разработки.

Важным фактором эффективной и надёжной проходки тоннеля является операция разработки забоя, для которой в современных условиях строительства предусматривается исполнительный орган. Ограниченное по времени силовое воздействие породоразрушающего инструмента на породу, макронеоднородность породы, проявляемая в пределах одного слоя, вызывает значительный разброс значений физико-механических свойств пород.

В документах, обязательных для тоннеле строителей - (ЕНиР, Сб. Е36-2 и СНиП 1У-5-82) - скальные и нескальные грунты распределяются в зависимости от трудности их разработки на 11 групп.

Наиболее общим показателем сопротивляемости пород разрушению в отечественном горном деле и подземном строительстве является коэффициент крепости/, введенный профессором М.М. Протоdjаконовым в 1911г. Коэффициент крепости / основан на показателе прочности пород на сжатие.

Сравнительная классификация групп грунтов представлена в таблице 3.1.

Классификация горных пород по коэффициенту крепости показана на рисунке 3.1.

Безразмерный коэффициент крепости - достаточно условный показатель, который отражает общие свойства горных пород и, в первую очередь, их прочность и устойчивость.

М.М. Протоdjаконов указал семь направлений определения f , из которых в настоящее время применяются:

- по значению раздавливания образцов породы;
- по скорости времени бурения шпура заданных параметров.
- Основным и общепринятым считается метод определения f по испытанию стандартных образцов на прочность R_c при одноосном

сжатии.

Таблица 3.1 – Сравнительная таблица групп грунтов

Группы грунтов по СНиПи ЕниР	Коэффициент крепости горных пород / по М. М. Протоdjаконову	Способ разработки (по ЕниР)	Время чистого бурения 1м шпура 1 бурения/мин	Тип грунта
I	0,4-0,5	Вручную	—	Нескальные
II	0,5-0,7	Вручную	—	Нескальные
III	0,7-1,2	Обойный молоток	—	Нескальные
IV, IV p	1,2-2,0	Обойный молоток, БВР	2,1	Разборно-скальные
V, V p	2-3	Обойный молоток, БВР	2,1-2,7	(Полускальные)
VI	3-5	БВР ~ ~	~ ~ 2/7-3,7 ~ ~	Скальные
VII	5-7	БВР	3,7-4,9	
VIII	7-9	БВР	4,9-6,7	
IX	9-13	БВР	6,7-9,2	
X	13-18	БВР	9,2-12,2	
XI	18-25	БВР	12,2	

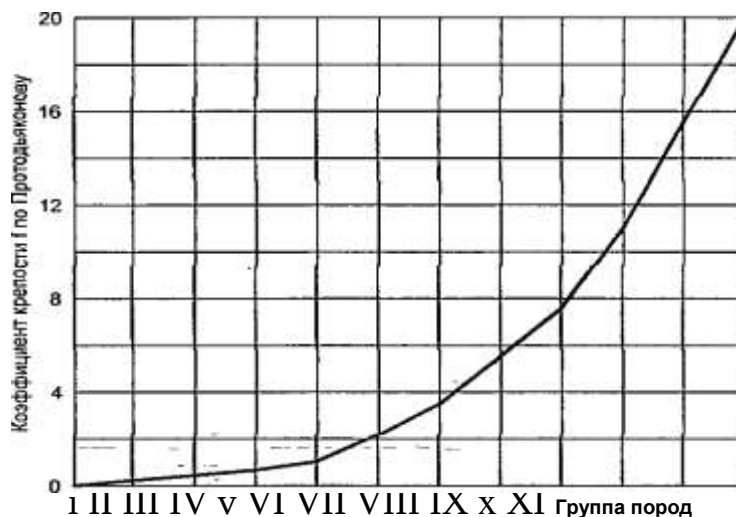


Рисунок 3.1 – Зависимость коэффициента крепости/по М.М. Протоdjаконову от групп пород

По М.М. Протоdjаконову коэффициент крепости определяется через R_c

$$f = \frac{R_c}{100} \quad (3.1)$$

Вследствие практической сложности стандартной процедуры лабораторных испытаний пород на одноосное сжатие появилась необходимость разработки простейшего варианта методики испытаний, а именно - определения контактной прочности пород P_k путём вдавливания индентора диаметром 2-3 см в породу.

В настоящее время расчёты, относящиеся к конструкции проходческих щитов, выполняются инженерным методом, где наряду с отдельными теоретическими положениями привлекаются в упрощённой форме эмпирические данные. Такой подход часто приносит пользу при решении практических задач. В работе приводится так называемый эмпирический метод, основанный на статическом обзоре применявшихся при строительстве тоннелей механизированных щитов. Он касается определения:

усилий передвижки щита:

$$P = (0.7 - 1.1) \cdot 0.785, МН \quad (3.2)$$

максимального крутящего момента:

$$M_{кр} = (6 - 20), кНм \quad (3.3)$$

где $D_{из}$ - наружный диаметр, м.

Полуэмпирический метод предложен Н.Е.Черкасовым. По его предложению, на конкретном образце горной породы из забоя, по нижеприведенной формуле определяется удельное усилие резания $P_{уд}$:

$$P_{уд} = P/F = P_3(0,6ah + Ch^2 + Ka^2)\sin\beta/ah \times \sin(\beta + \gamma), \quad (3.4)$$

где P - усилие резания, кгс/см²;

F - площадь сечения стружки без развала, см;

P_3 - показатель сопротивления породы резанию, кгс/см ;

a - ширина стружки, см;

h - толщина стружки, см;

C - коэффициент обнажения стружки;

K - коэффициент затупления задней грани резца;

β - угол скольжения стружки, град;

γ - передний угол резца, град

Толщина стружки определяется по номограмме:

$$h_3 = f(P_3) \quad (3.5)$$

Для расчёта мощности привода щита используется отдельная номограмма:

$$N = f(S, V, P_9) \quad (3.6)$$

где S - площадь сечения выработки;

V - скорость проходки;

P_9 - эталонное сопротивление.

Применяется полуэмпирический метод расчёта силовых и энергетических параметров механизированных щитов для скальных грунтов крепостью $f < 6$. В зависимости от коэффициента крепости пород (таблица 3.2) определяются усилия горных пород по удельным затратам энергии.

Таблица 3.2 – Удельная энергоёмкость $W_{уд}$ разработки горных пород

Коэффициент крепости пород по М.М. Протоdjяконову	6	7	8	9	10
Удельная энергоёмкость $W_{уд}$, кВт ч/м ³	13	15,9	17,3	19,5	21,7

Мощность N_{po} рабочего органа механизированного щита определяется по $W_{уд}$ следующим образом:

$$N_{po} = W_{уд} FV / \eta, \text{ кВт}, \quad (3.7)$$

где F - площадь забоя, м;

V - скорость подачи рабочего органа на забой, м/ч;

η - к.п.д.

Анализ приведенных методов расчёта параметров щитов показывает их ограниченность: в основном делается попытка определения мощности рабочего органа щита, мало увязанной с остальными его характеристиками. Обоснование параметров щитов по коэффициенту крепости пород f М.М. Протоdjяконова приводит к очень широким диапазонам определяемых показателей из-за большой неопределённости самого коэффициента. Применение эталонной методики суживает расчётную базу, привязывая её к трудоёмкому отбору натуральных образцов, относящихся к местным условиям.

Удельная энергоёмкость разработки горных пород

В ходе реализации проектов, построенных с помощью ТПМК, получены эмпирические данные для определения параметров щитов. Практический опыт позволил определять минимальную толщину материала оболочки щита и принципы разработки специального оборудования. Большинство технико-экономических обоснований являлись результатами проверки конструкций или основаны на адаптации параметров других проектов, которые успешно проверены на практике в течение многих лет.

Без учёта исходных условий проектов, т.е. гидрогеологических и геологических условий, использования смазки оболочки щита и т.д., инженер Краузе в результате исследований получил усреднённые данные усилий щитовых домкратов в зависимости от диаметра щита. Им были исследованы работы в эксплуатации 397 щитов с суспензионным пригрузом в Японии и 12 гидрощитов в Германии. Связь между максимальным усилием щитовых домкратов P_p и диаметром щита выражается следующей формулой;

$$P_p = \beta \times d_{sh}^2 \text{ кН} \quad (3.8)$$

где β - эмпирический коэффициент, кН/м²;

d_{sh} - диаметр щита, м.

На рисунке 3.2. приведены данные об усилиях щитовых домкратов у 397 исследованных щитов с суспензионным пригрузом в Японии, с использованием эмпирических коэффициентов $\beta = 700-1100$ [12].

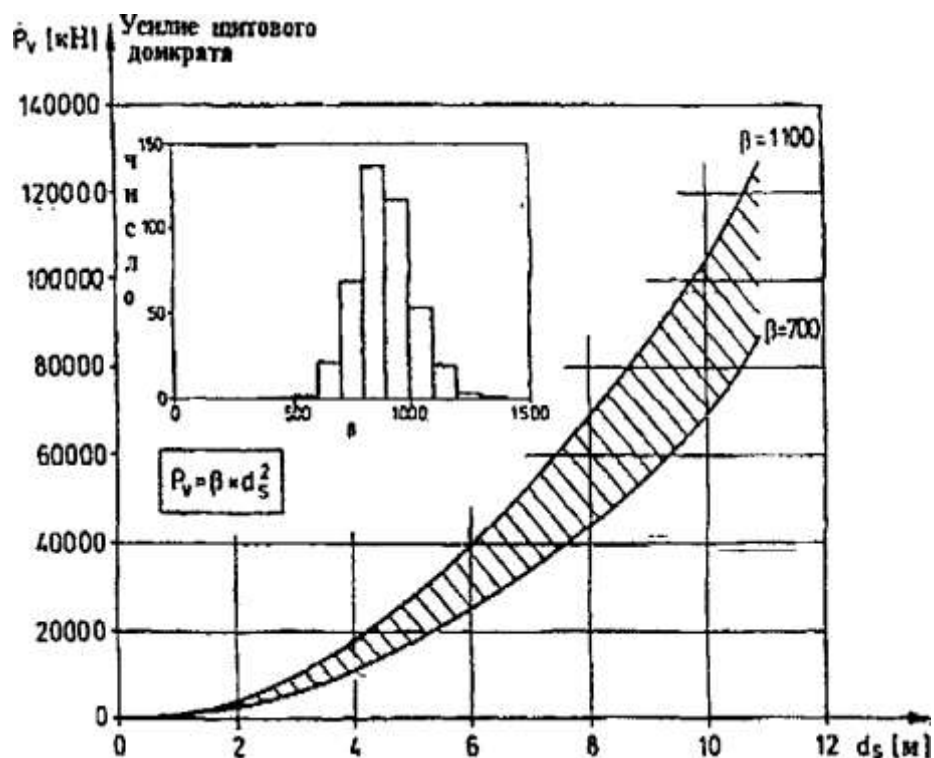


Рисунок 3.2 – Соотношение между максимальным усилием щитового домкрата и диаметром щита у 397 исследованных щитов с суспензионным пригрузом в Японии

На рисунке 3.3 приведены данные об усилиях щитовых домкратов у 12 исследованных гидрощитов в Германии с использованием эмпирических коэффициентов $\beta = 500-1200$.

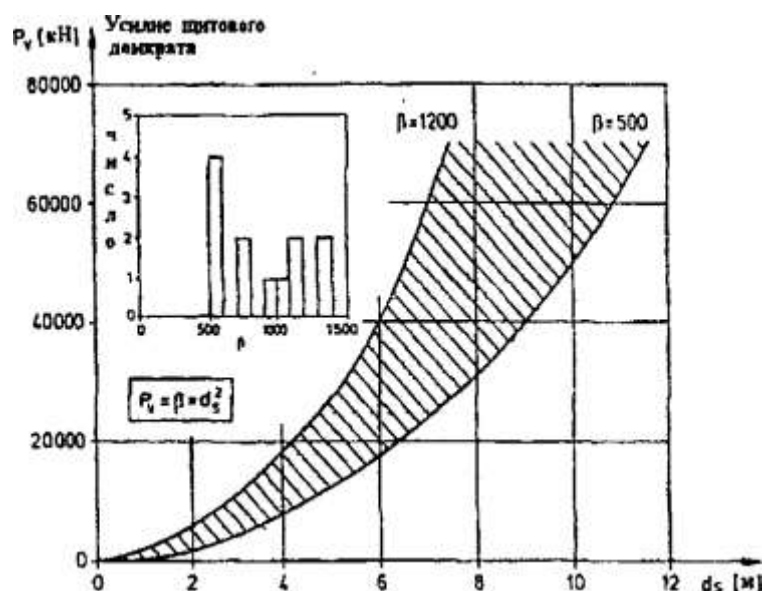


Рисунок 3.3 – Соотношение между максимальным усилием щитового домкрата и диаметром щита у 12 исследованных гидрощитов в Германии

Инженер Анхойзер в своих исследованиях даёт оценку усилий домкратов в диапазоне от 1,0 до 1,5 МН на метр окружности щита, в зависимости от стабильности грунта и характеристик по трению щита.

Производительность ТПМК для строительства перегонных тоннелей, оснащённого роторным рабочим органом, может быть определена на основании исследований, выполненных Е.А. Демешко и Е.А. Слюсаренко.

Количественные оценки параметров щитовых агрегатов для обоснованного их выбора в конкретных инженерно-геологических условиях, с учётом изменчивости горных пород, *были* этими авторами рассчитаны по программе «018С-2» для скальных и полускальных грунтов для проходки тоннелей щитами, оснащёнными шарошками произвольного профиля. Результаты исследований приведены на рисунке 3.4 и в таблице 3.1.

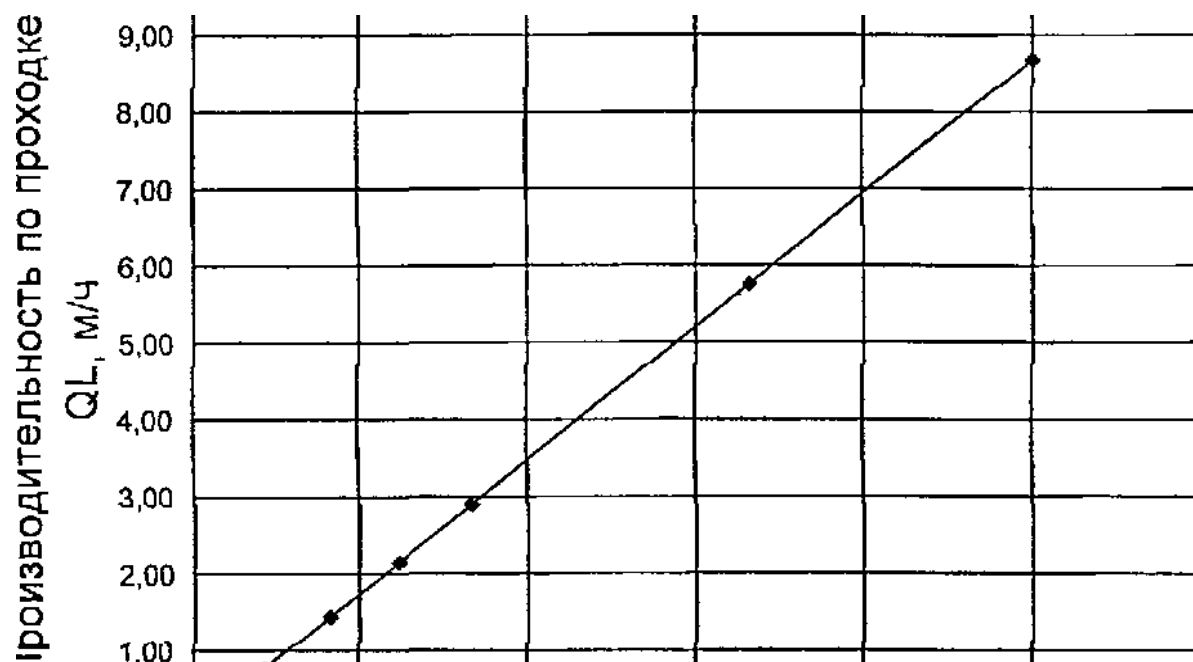


Рисунок 3.4 – Показатели производительности по проходке в зависимости от скоростей вращения ротора

Таблица 3.1 – Показатели мощности, общего момента и усилия подачи ротора и производительности по проходке при изменении диаметра щита

№ п/п	Диаметр щита, м	Радиус ротора, см	Общая мощность ротора (кВт)	Общий момент ротора (М, кНм)	Усилия подачи ротора (кН)	Производительность по проходке (м/ч)
1	4	200	334	2868	7031	1,44
2	6	300	754	6483	10687	1,44
3	8	400	1319	11339	14062	1,44
4	10	500	2075	17834	17718	1,44
5	12	600	2964	25475	21093	1,44
6	14	700	4058	34881	24749	1,44

Практически все роторные ТПМК снабжены шарошечным инструментом:

- а) в скальных и полускальных грунтах шарошки вращательного действия стали почти повсеместно единым средством их разрушений;
- б) в мягких фунтах шарошки используются как дополнительный элемент основного резцового инструмента для разрушения встречаемых валунов (без выхода людей в забой), а также для разработки прослоев скальных фунтов (по всей площади забоя).

Для определения производительности ТПМК «Херренкнехт», оборудованного роторным рабочим органом, на строительстве левого перегонного тоннеля были проведены хронометражные замеры времени разработки.

Полученные данные максимальной производительности ТПМК на одну заходку в зоне супесей - 1,4 м в час, совпадают с данными исследований производительности роторных рабочих органов, проведенными Е.А. Демешко и Е.А. Слюсаренко - 1,44 м в час.

Максимальная производительность ТПМК с роторным рабочим органом в разработанных схемах транспорта принята 1,44 метра проходки перегонного тоннеля в час.

Таблица 3.2 – Хронометражные замеры производительности ТПМК «Херренкнехт» на строительстве левого перегонного тоннеля Алматинского метрополитена.

Проходка ТПМК «Херренкнехт»											
в зоне суглинков			в зоне супесей			в зоне глин			в зоне известняков		
п/п	№ пикетов	Время разработки породы за один цикл на длину заходки 1,4 м, мин.	п/п	№ пикетов	Время разработки породы за один цикл на длину заходки 1,4 м, мин.	п/п	№ пикетов	Время разработки породы за один цикл на длину заходки 1,4 м, мин.	п/п	№ пикетов	Время разработки породы за один цикл на длину заходки 1,4 м, мин.
	П К 117 +25.00	48		П К 113 +46.00	78		П К 93 +94.00	106		П К 90 +12.00	103
	П К 117 +15.40	53		П К 113 +18.00	86		П К 93 +92.60	110		П К 90 +07.80	101
	П К 117 +07.00	64		П К 107 +98.60	90		П К 93 +60.00	102		П К 90 +05.00	93
	П К 116 +42.00	49		П К 107 +87.40	57		П К 93 +38.00	101		П К 88 +70.00	100
	П К 116 +23.80	54		П К 105 +92.60	64		П К 92 +65.80	110		П К 88 +65.80	105
	П К 116 +12.60	56		П К 105 +87.40	65		П К 92 +63.00	108		П К 88 +58.80	106
	П К 115 +50.60	59		П К 105 +32.20	78		П К 92 +58.40	107		П К 88 +50.40	103
	П К 115 +29.60	58		П К 102 +94.40	80		П К 92 +54.20	104		П К 88 +40.60	102
	П К 115 +15.60	55		П К 102 +81.20	79		П К 92 +50.00	97		П К 88 +35.00	110

Описание основных характеристик грунтов, разработанных ТПМК «Херренкнехт» по результатам хронометражных замеров:

- суглинок грубопесчаный, тугопластичной консистенции, с прослоями песка влажного, с включением гравия и гальки до 20% и единичных валунов размером до 0,5м;
- супесь песчанистая, средней плотности, пластичной и текучей консистенции, влажная и водонасыщенная;
- глина серовато - черная, твердая, плотная, слюдистая, сланцеватая;
- известняк мелкокристаллический, средней прочности, трещиноватый, водоносный, с прослоями мергеля доломитового, плотного и доломита микрозернистого, трещиноватого.

3.3 Обделка перегонных тоннелей в исследуемых схемах. Исследования рельсовых узкоколейных транспортных средств в перегонных тоннелях

Обделка тоннелей в схемах с отечественным ТПМК КТ1-5,6 принимается сборной, унифицированной, железобетонной из элементов прямоугольного сечения по проекту ТС-84/21 с 10 блоками в кольце. Наибольшая масса элемента - 1,55т. Ширина кольца - 1м. Соединение элементов в кольце осуществляется на штырях.

Крепление тоннеля в схемах с ТПМК «Херренкнехт» принимается с обделкой типа «Инсбрукское кольцо», с 7 блоками в кольце, со связями на болтах, с шириной кольца 1,4м .

Тампонаж за обделку выполняется одновременно с передвижкой щита в период установки очередного кольца, с помощью оборудования, расположенного на технологических тележках проходческих комплексов.

С учётом указанных требований, в перегонном тоннеле при двухстороннем движении рельсового транспорта может быть применено следующее оборудование, расположенное в подвижном составе по ширине тоннеля:

$$Ш_{\text{т}} = 2a + b + 2c \quad (3.9)$$

где $Ш_{\text{т}}$ - ширина тоннеля, м;

a - минимальное расстояние между габаритом подвижного состава и крепью выработки - 0,2м для обделки из железобетона;

b - минимальный зазор между габаритами встречных рельсовых транспортных средств - 0,2м;

c - максимальный габарит оборудования по ширине в подвижном составе, м.

Рельсовый транспорт рассматривается в данном исследовании с использованием узкоколейных путей на рельсах лёгких типов Р24, высотой 107мм или Р33, высотой 128мм для стандартной ширины колеи 600, 750 и 900мм. Толщина балластного слоя под шпалами принимается не менее 100мм и

шпалы погружаются в балласт не менее чем на 2/3 своей высоты. В качестве балласта применяется щебень из твёрдых пород с размерами частиц 20-40мм. Деревянные шпалы из сосны, пихты или лиственницы принимаются высотой 140мм под рельсы Р33 и 130мм под рельсы Р24. Длина шпал для колеи 600мм - 1200мм, а для колеи 750 и 900мм — 1700мм. Длина звена рельс Р24-8м, а Р33-12,5м.

Расчёты количества балласта из щебня на 1м тоннеля, в зависимости от максимального габарита по ширине оборудования в подвижном составе, определяется по схеме, приведенной на рисунке 3.5.

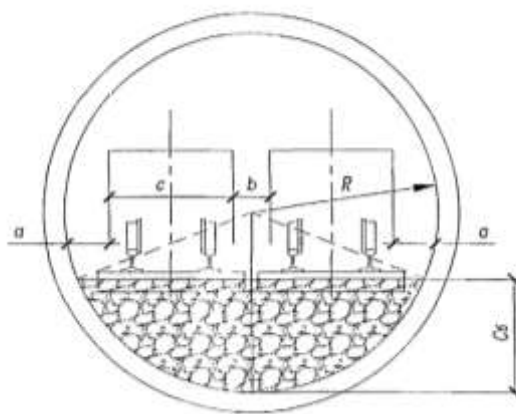


Рисунок 3.5 – Расчетная схема определения необходимого балласта под путями рельсового транспорта, в соответствии с требованиями к подвижным составам в перегонных тоннелях

Расчёт производится по формуле:

$$H = R - \sqrt{R^2 - (a + c + 0.5b)^2}, \text{ м}, \quad (3.10)$$

где H - расстояние по высоте от центра тоннеля до горизонтальной линии-хорды, характеризующей минимальные зазоры между обделкой тоннеля и максимальными габаритами в подвижном составе - 2a и зазором между подвижными составами - b;

c - максимальный габарит по ширине в подвижном составе, м.

Стрелка определяется как:

$$C = R - H, \quad (3.11)$$

Балласт из щебня (хорда балласта) будет расположен ниже размера стрелки на величину равную высоте рельса (107мм) и, кроме того, будет располагаться ещё ниже на 1/3 высоты шпалы, заглублённой в балласт (46мм).

Зазор между креплением тоннеля и подвижным составом, размещенном

на колёсах, должен быть ещё понижен на половину диаметра колёс (ориентировочно-150мм).

Стрелка балласта будет:

$$C_6 = R - H - 107 - 46 - 150 \quad (3.12)$$

Площадь щебёночного балласта определяется по формуле:

$$F = \frac{1}{2} R^2 \left(\frac{\alpha \pi}{180} - \sin \alpha \right), \text{ м}^2 \quad (3.13)$$

В данном исследовании рассмотрены основные варианты применяемого оборудования и обделок к строящимся перегонным тоннелям, с учётом их максимальной ширины в подвижном составе при транспортировке, с обязательным соблюдением указанных требований максимального габарита подвижных транспортных средств.

Результаты исследования вариантов подвижных составов с оборудованием приведены на графике (рисунке 3.6) и в таблице 3.5.

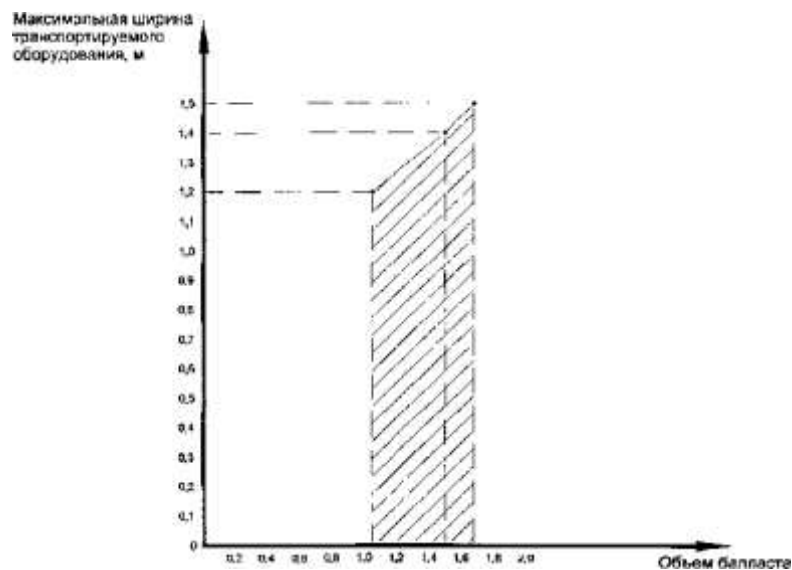


Рисунок 3.6 – График зависимости объема балласта

На основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

При строительстве перегонных тоннелей внутренним диаметром 5,4 или 5,5м, укладка двух рельсовых путей с размещением односторонних и перекрёстных съездов может осуществляться без устройства щебёночного балласта, в случаях использования в подвижных составах оборудования и обделок с максимальными габаритами по ширине до 1м включительно. Лотковая часть тоннельной обделки в этом случае может использоваться в качестве основания для рельсовых путей, закреплённых на шпалах [13].

Таблица 3.3 – Объем необходимого балласта на 1м перегонного тоннеля в зависимости от максимальной ширины используемого оборудования в подвижном составе

№ п	Максимальная ширина оборудования или обделки в подвижном составе	Я-радиус обделки тоннеля, м	а-минимальный зазор между габаритом подвижного состава и крепью, м	б-минимальный зазор между габаритами встречных рельсовых транспортных средств, м	Сб-размер стрелки от обделки тоннеля ДО балласта из щебня, м	Необходимый объем балласта (щебня) на 1 м тоннеля в массиве до укладки, м ³
ДЛЯ ОБДЕЛКИ ТОННЕЛЯ 6000/5400						
1	Подвижной состав и др. оборудование шириной 1500мм	2,7	0,2	0,2	0,69	1,11 1,66
2	Блоки обделки шириной 1400мм	2,7	0,2	0,2	0,61	1,01 1,50
3	Блоки обделки шириной 1200мм	2,7	0,2	0,2	0,46	0 [^] 7 1,05
4	Блоки обделки шириной 1000мм	2,7	0,2	0,2	0,34	-
ДЛЯ ОБДЕЛКИ ТОННЕЛЯ 6000/5500						
5	Блоки обделки шириной 1000мм	2,75	0,2	0,2	0,33	-

3.4 Исследования схем организации рельсового транспорта с ТПМК КТ1-5,6. Разгрузка разработанного грунта из монтажных камер при использовании в подвижных составах вагонеток

В схемах применяются шахтные электровозы, вагонетки, блоковоксы и другое оборудование максимальной ширины до 1000мм, которое не требует обустройства балластного слоя из щебня, и которое рассчитано на перемещение по двухколейному рельсовому пути шириной 600мм.

Для транспортировки разработанного грунта используются типовой

контактный электровоз К10 и вагонетки типа УВГ-1,6 с глухим неопрокидным кузовом, с вместимостью кузова $1,6\text{м}^3$. Вагонетки с глухим неопрокидным кузовом с вместимостью кузова $2,2\text{м}^3$, $2,5\text{м}^3$, $3,3\text{м}^3$ и $4,0\text{м}^3$ (УВГ-2,2; УВГ-2,5; УВГ-3,3 и УВГ-4,0) не могут использоваться при двухколейных путях из-за их ширины, составляющих от 1200мм до 1320мм.

Техническая характеристика электровоза К10:

Р, кН - сцепной вес - 100.

Едл, кН - сила тяги - 4,8.

Вдл, км/ч - скорость - 18,0.

Идл, А - ток - 62.

Колея, мм - 600/900.

Техническая характеристика вагонетки УВГ-1,6.

Вместимость - $1,6\text{м}^3$.

Грузоподъёмность - 3,0т.

Масса порожней вагонетки - 0,7т.

Вес груза в вагонетке - 2,52т

Технологические процессы и применяемое оборудование по разгрузке породы в технологической камере рассматриваются как с применением существующего отечественного оборудования, так и с применением нового оборудования, предлагаемого автором для внедрения в производство.

Расчёт откатки электровозом К10

Весовая норма состава определяется по трём категориям:

По критерию трогания гружёного состава на руководящем подъёме:

$$Q_r = \frac{1000P_{сцф}}{W_{гп} + I_p + 110j} - P \quad (3.14)$$

где: j - пусковое ускорение, $j = 0,03\text{м/с}^2$;

φ - коэффициент сцепления, φ = 0,15 - для мокрых рельсов;

Р - сцепной вес электровоза — 100кН;

W_r — пусковое сопротивление груженной вагонетки, $W_r = 9\text{Н/кН}$;

$W_{гп}$ - пусковое сопротивление движению порожней вагонетки, $W_{гп} = 1,5W_r = 1,5 \times 9 = 13,5 \text{ Н/кН}$;

$I_p = 5\%$ - руководящий уклон.

$$Q_r = \frac{1000 \times 100 \times 0.15}{13,5 + 5 + 110 \times 0,03} - 100 = 588\text{кН}$$

$$Q = 0,7 + 2,52 = 3,2 \text{ т}$$

$$Q_{10} \text{ вагонеток} = 10 \times 3,2 = 32 \text{ Т} = 320 \text{ кН}$$

1. По критерию торможения гружёного состава на руководящем уклоне:

$$Q_{\Gamma} = \frac{1000 \times P_{\Gamma} \times \varphi}{110j_{\Gamma} - W_{\Gamma} + i_{\Gamma}} - P, \text{ кН} \quad (3.15)$$

2. По критерию нагрева тяговых двигателей:

$$Q_{\Gamma} = \frac{F_{\text{дл}}}{\alpha \sqrt{\frac{T_{\text{дл}}}{T_{\text{р}}}} (W_{\Gamma} - i_{\Gamma})} - P, \text{ кН} \quad (3.16)$$

где α - коэффициент, учитывающий ухудшение охлаждения двигателей во время маневров - 1,4 при длине тоннеля до 2км;

$F_{\text{дл}}$ - сила тяги электровоза — 4800Н;

$V_{\text{ср.х}}$ - среднеходовая скорость движения; $V_{\text{ср.х}} = 0,75 V_{\text{дл}} - 0,75 \text{ м/с} = 3,75 \text{ м/с}$;

$T_{\text{дв}}$ - продолжительность движения электровоза в течении рейса (рейс-1600м), $T_{\text{дв}} = \frac{1600}{60 \times V_{\text{ср}}} = 7 \text{ мин}$;

$T_{\text{р}}$ - продолжительность рейса, с учетом маневра электровоза, 9 мин;

i_{Γ} - уклон равного сопротивления — 2%.

Обоснования применения оборудования для внутритоннельного транспорта к ТПМК КТ1-5,6. Обоснования и расчёты к компоновке подвижных составов транспорта

Цикл проходческих работ принимается 1м, равный ширине обделки тоннеля.

На один цикл проходки объём разработанной породы в целике составит:

$$U_{\text{ц}} = 3 \Gamma K^2 = 3,14 \times (2,815)^2 = 24,88 \text{ м}^3 \quad (3.20)$$

С учётом разрыхления разработанной породы за один цикл проходки должно быть погружено:

$$U_{\text{р}} = U_{\text{ц}} \times K_{\text{р}} = 24,88 \times 1,2^{29,86} = 30 \text{ м}^3, \quad (3.21)$$

где $K_{\text{р}}$ - коэффициент разрыхления породы, равный 1,2 (для песчаных, глинистых, суглинистых грунтов).

Шахтная грузовая вагонетка УВГ-1,6 имеет по характеристике вместимость кузова 1,64м. При её наполнении при погрузке 90%, объём заполнения вагонетки составит:

$$U_{\text{зв}} = 1,64 \times 0,9 = 1,48 \text{ м}^3 \quad (3.22)$$

На один цикл проходки потребуется, с учётом формул 3.21 и 3.22,

$$n = U_{\text{р}} / U_{\text{зв}} = 30 / 1,48 = 20 \text{ вагонеток} \quad (3.23)$$

При длине перегонного тоннеля 1600м, потребуется загрузить и разгрузить

$$B = b \times n = 1600 \times 20 = 32000 \text{ вагонеток} \quad (3.24)$$

В схемах о ТПМК ИСТ1—5,6 применяется последовательность щитовой технологии организации работ, где часть операций выполняется параллельно, т.е. совмещая их по времени, а другая часть - последовательно.

Параллельно выполняется разработка породы, её погрузка и тампонаж за обделку тоннеля, а монтаж обделки, транспортировка грунта, разгрузка грунта - последовательно.

Породопогрузочная машина входит в комплект ТПМК КТ1-5,6.

Для операций по транспортировке грунта, с учётом формулы 3.21 должны быть сформированы два состава:

состав I и состав II - из 10 вагонеток длиной 23,6м (2,36х10) без учёта длины электровоза - 4,5м, или с учётом электровоза - длиной 28,1м;

Для операций по транспортировке обделки тоннеля должен быть сформирован ещё один состав-

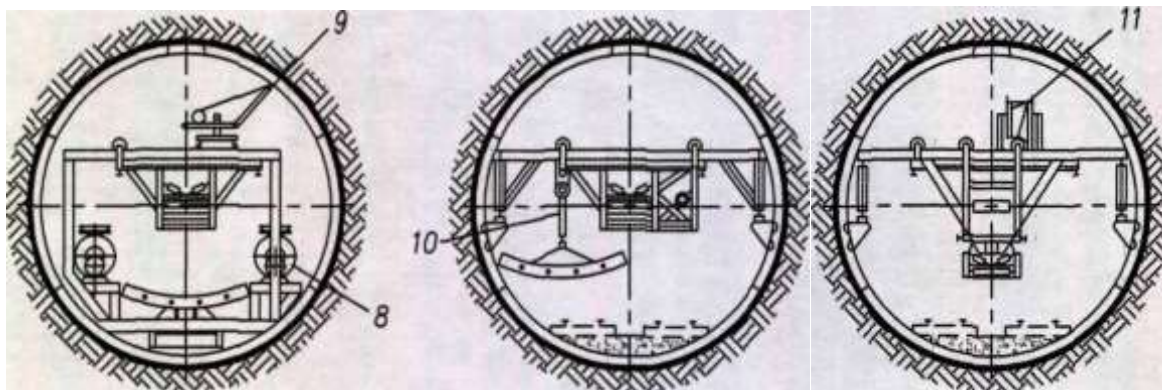
состав III - из 10 блокобуксиров (ББК-2,5 или ББА-2,5) длиной 25,6м (длина каждой блокобуксировки по буферам 2,56м). Общая длина состава с электровозом - 30,1м.

Для погрузки породы в составы I и II предусматривается установка и крепление за щитовым проходческим комплексом телескопического конвейера длиной 24м (по длине составов I или II, без учёта длины электровоза).

При проходке технологической части перегонного тоннеля, когда монтируется оборудование щитового проходческого комплекса, телескопический конвейер не раздвигается на всю длину.

Погрузка породы в состав I, а затем в состав II и подача обделки тоннеля к забою на блокобуксировках составом III должны осуществляться последовательно.

На рисунке 3.7 представлено расположение составов II и III под телескопическим конвейером ТПМК КТ1-5,6.



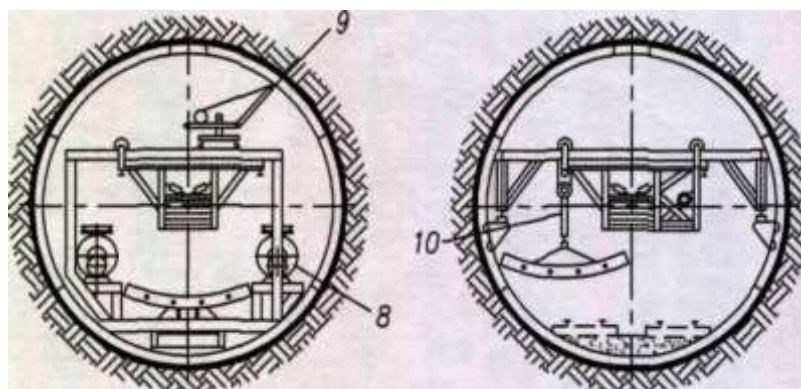


Рисунок 3.7 – Расположение составов II и III под телескопическим конвейером ТПМК КТ1-5,6.

Операции по проходке 1 м тоннеля включают в себя:

Трз - время разработки забоя ТПМК, мин;

Тц - время работы подземного транспорта для обеспечения всего цикла, мин;

Ттр - время перемещения состава по тоннелю, мин;

Тмэ - время маневра электровоза в тоннеле, мин;

Тп - время погрузки составов, мин;

Тмо - время монтажа обделки тоннеля, мин;

Тт - время выполнения тампонажных работ, мин;

Тр - время разгрузки составов, мин;

Б - длина перегонного тоннеля на момент исследования, м;

Уп - принятая скорость электровоза на прямых участках, км/час;

п - количество составов с вагонетками, пгг;

1 - длина участков разминок, м;

Ур - принятая скорость электровоза на участках разминок, км/час.

В рассматриваемой схеме с ТПМК КТ 1-5,6 операция по тампонажным работам совмещается по времени с работами по монтажу обделки.

Время разработки забоя 1м тоннеля за один цикл для КТ 1-5,6 - 42 мин. (при производительности роторного рабочего органа 1,44м в час). Монтаж обделки производится за 50 мин.

В соответствии с «Правилами безопасности...» максимальная скорость движения рельсового транспорта при электровозной откатке принимается 10 км/ч и 5 км/ч на стрелках. Электровозы маневрируют для необходимости постоянного присутствия в голове составов. Расстояние между разминками принимается 100м, т.е. электровоз за каждый маневр преодолевает расстояние 170м (состав длиной 30м).

Разгрузка составов I и II и погрузка обделки на блоковозки в состав III производится в монтажной камере. Погрузка блочной обделки на блоковозки в составе III и доставка этой обделки к щиту производится за время работы составов I и II.

В рассматриваемой схеме с ТПМК КТ1-5,6 применяется разгрузка породы на поверхность из монтажных камер подъёмом поштучно отдельных вагонеток, так как в настоящее время в монтажных камерах нет оборудования для разгрузки породы, способного механизировать основные технологические операции. Время разгрузки вагонеток из составов I или II для рассматриваемой схемы с ТПМК КТ 1-5,6 составляет 60 минут.

В расчётах затрат времени на маневры электровозов, учитывается разрешение о возможности использования электровозов в хвосте состава при уклонах до 0,005 на расстояние не более 200м.

Производительность ТПМК находится в прямой зависимости от времени выполнения операций проходческого цикла работ. Снижение производительности происходит в первую очередь за счёт потерь времени, необходимого для монтажа обделки, когда щит вынужден останавливаться для выполнения этой операции. В нашем случае, для ТПМК КТ 1-5,6, применяющих сборную железобетонную обделку перегонных тоннелей из унифицированных элементов прямоугольного сечения по проекту ТС 84/21, время монтажа обделки принято 50 мин. по данным практики её использования.

Затраты времени на монтаж обделки могут быть сокращены вдвое, как это имеет место при монтаже обделки к ТПМК «Herrenknecht» (25 минут).

Снижение производительности ТПМК вызывается и задержкой процесса разгрузки составов с породой в монтажной камере. Принимая последовательную работу состава 1, а затем состава 2, должно быть выполнено следующее условие:

$$T_{тр.1} + T_{м.э.1} + T_{р.1} = T_{п.П} + T_{тр.П} + T_{м.э.П} \quad (3.25)$$

Для проведения участка тоннеля на длине 1600 м, при скоростях движения составов 10 км/час на прямых участках, 5 км/час при маневрах электровозов и времени, затрачиваемого на разгрузку поштучно состава из 10 вагонеток в монтажной камере — 30 минут, необходимое время на операции составов:

для первого состава: $9+2+21=32$ мин.;

для второго состава: $30+9+2 = 41$ мин.

простой ТПМК на обмене составов: $41-32 = 9$ мин.

Следовательно, для увеличения скорости проведения перегонных тоннелей ТПМК необходимо решать вопросы как снижения затрат времени на монтаж обделки, так и снижения затрат времени на разгрузку вагонеток в монтажной камере.

Существующая технология отгрузки породы из монтажных камер и показатели максимальной производительности ТПМК

На объектах по строительству перегонных тоннелей в настоящее время в монтажных камерах нет оборудования для разгрузки породы, способное механизировать основные технологические операции. Повсеместно разгрузку породы из монтажных камер осуществляют с помощью кранов, поднимающих, разгружающих и опускающих в камеру отдельные вагонетки.

В 60-х годах прошлого столетия СКТБ Главтоннельметростроя разработал шахтный комплекс для строительства тоннелей метрополитенов мелкого заложения на глубине до 18 м (КТТТМ-1), в котором сделана попытка механизировать работы по разгрузке разработанной породы из монтажных камер.

На рисунке 3.8 показан шахтный комплекс мелкого заложения в монтажной камере.

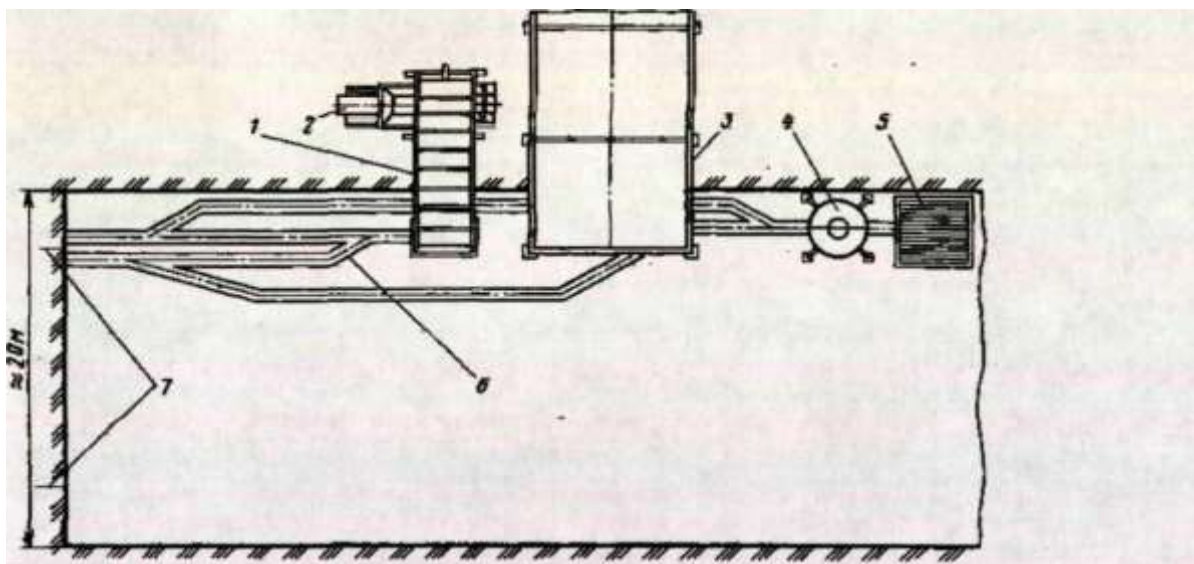


Рисунок 3.8- Наклонный подъёмник в комплексе КШМ-1, осуществляющий непосредственно разгрузку вагонеток,

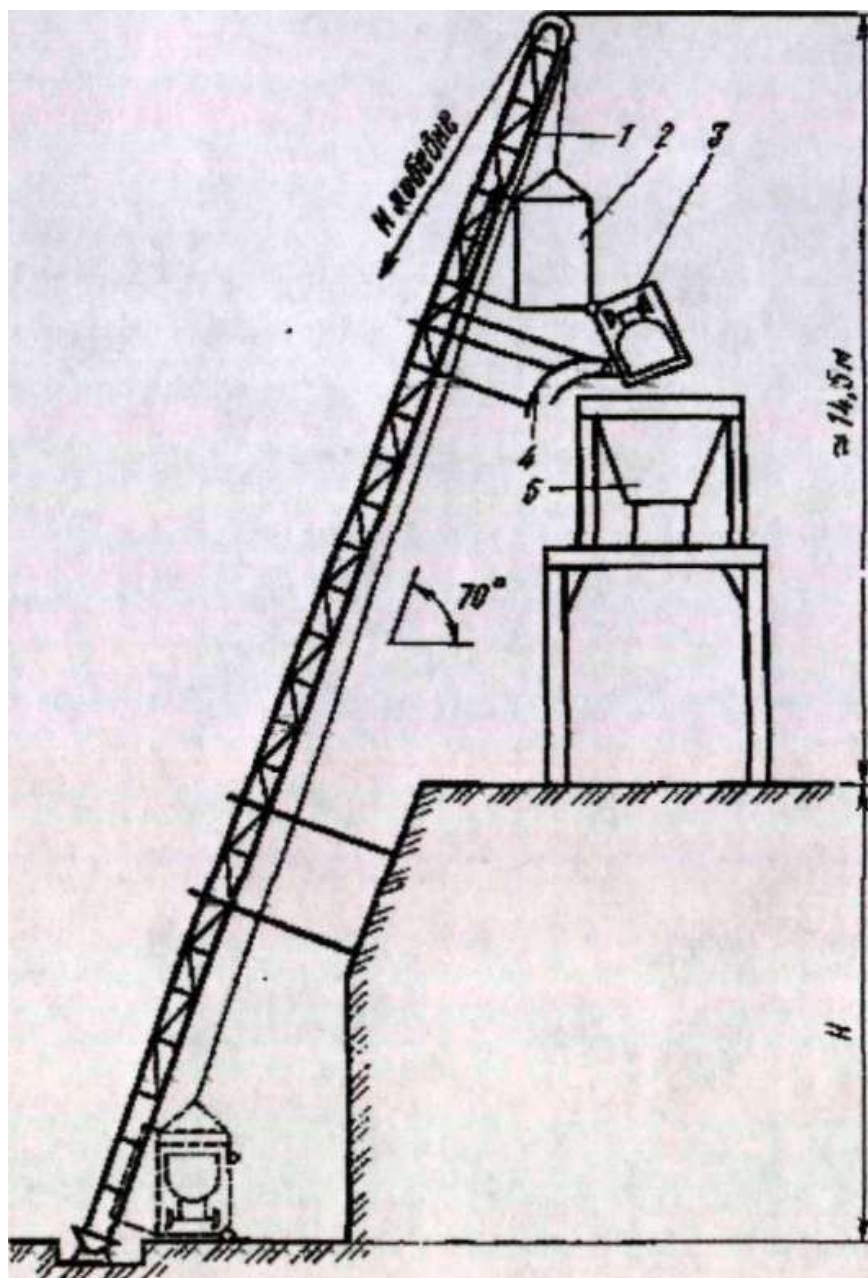


Рисунок 3.9 – Наклонный подъёмник в комплексе КШМ-1

Подъём клетки осуществлялся лебёдкой Л5 100 грузоподъёмностью 50 кН. Производительность наклонного подъёмника - 20 подъёмов/ч. Шахтный комплекс в 1967г. проходил испытания в СМУ №3 на участке продления Кировского радиуса.

На рис. 3.9 представлен этот комплекс во время проведения испытаний на объекте в 1967г.

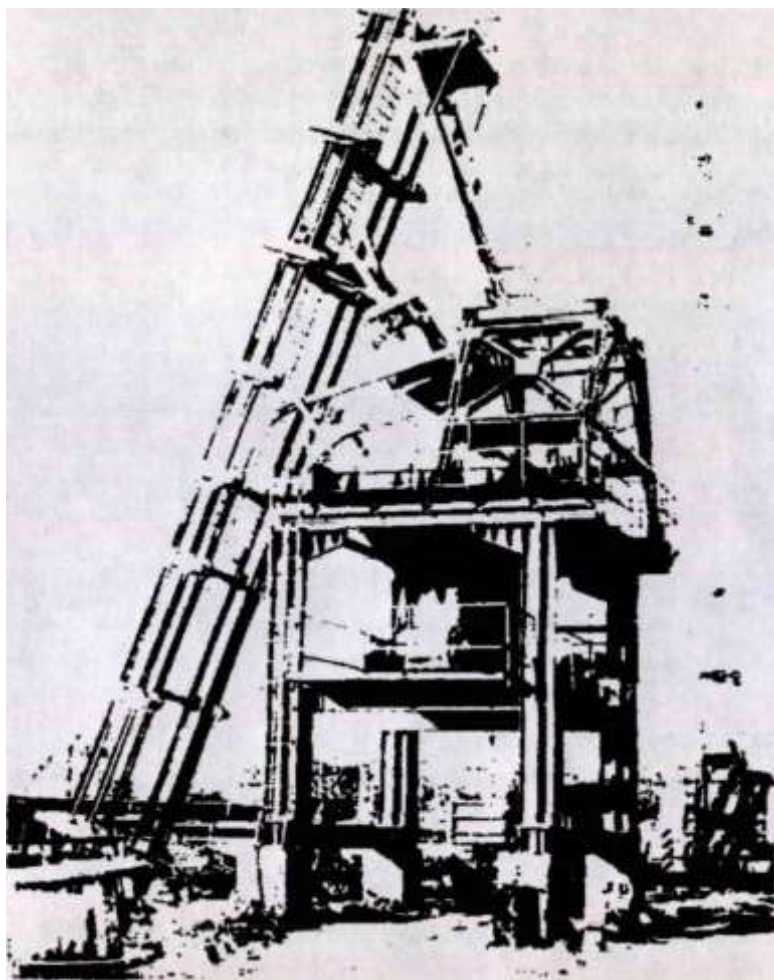


Рисунок 3.10

Как показала практика его использования в экспериментальном варианте, имел малую производительность по разгрузке разработанной породы и не мог быть эффективен по следующим соображениям:

ТПМК, такие как КТ1—5,6 массой 164,7т. монтируются в современных условиях в технологических камерах с помощью козловых кранов грузоподъемностью до 200т, которые постоянно работают на погрузке в монтажную камеру различных материалов и оборудования, на работах по разгрузке разработанной породы, на монтаже и демонтаже проходческих комплексов для строительства соседних перегонных тоннелей. В связи с этим, применение в зоне работы козловых кранов невозможна работа наклонных подъемников и тельферных эстакад, предлагаемых шахтным комплексом КШМ-1;

Загрузка вручную вагонеток с породой ёмкостью $1,5\text{м}^3$ в грузонесущий контейнер, подъем специальной лебёдкой контейнера с вагонеткой на высоту до 60м, разгрузка породы в бункер и спуск пустой вагонетки в контейнере в монтажную камеру - все эти работы связаны с затратами значительного количества времени и ручного труда;

Наличие в монтажной камере лебёдки Л5 100 грузоподъемностью 50кН и мощной направляющей опоры осложняет работу рельсового транспорта в

монтажной камере;

Монтаж и демонтаж элементов комплекса в технологической камере длительный по времени, что увеличивает срок ввода перегонного тоннеля в эксплуатацию.

По указанным причинам комплекс КТТТМ-1 не нашёл широкого применения и в современных условиях строительства перегонных тоннелей отсутствует в монтажных камерах оборудование с высоким уровнем механизации, способное обеспечить чёткую и производительную работу по эвакуации разработанного грунта. Повсеместно разгрузка осуществляется подъёмом на поверхность поштучно вагонеток кранами и спуск порожних вагонеток этими же кранами, с производительностью 20 вагонеток в час.

Расчёты затрат времени на основные операции проходческого цикла работ при длине заходки 1 м выполнены для строительства перегонных тоннелей длиной 1600 м к схеме с ТПМК КТ1-5,6 (таб. 3.6). Затраты приведены в таблице в зависимости от длины участков тоннелей, при этом, трасса тоннеля разделена на участки равные 200 м.

В расчётах принята разгрузка вагонеток из монтажных камер кранами с производительностью 20 вагонеток в час. Время погрузки породы, разработанной ТПМК КТ1-5,6 принимается 42 мин.

Скорость движения составов на прямых участках - Ю км/час, а скорость движения составов на разминовках - 5 км/час. На участках тоннелей длиной до 200 м маневры электровозов не производятся по разрешению

Результаты исследований, приведенные в таблице 3.6, показывают, что производительность ТПМК КТ1-5,6 в 30 м разработанной породы за 42 мин. не может быть обеспечена, следовательно, для поддержания стабильной производительности ТПМК КТ 1–5,6, необходимо решать вопросы ускорения отгрузки породы из монтажных камер.

3.5 Новые конструктивные предложения для разгрузки разработанного грунта из монтажных камер. Расчёты и выбор винтового конвейера (шнека)

Анализ затрат времени по отдельным операциям рельсового транспорта породы по тоннелям и её разгрузке в монтажных камерах, приведенных в расчётной таблице 3.7 показывает, что производительность работ по разгрузке разработанной породы не обеспечивается существующим оборудованием для современных высокопроизводительных ТПМК типа КТ1- 5,6.

Для решения вопросов по разгрузке вагонеток с породой из монтажных камер, в диссертации разработаны конструктивные решения, которые можно рекомендовать для широкого применения на строительстве перегонных тоннелей.

Для этих целей, над одной колеей устанавливаются две компактные сборные секции металлоконструкций. В секции №1 производится разгрузка породы из типовых вагонеток УВГ-1,6 с глухим неопрокидным кузовом. В

дальнейшем предлагается осуществлять разгрузку вагонеток со съёмным кузовом, что значительно ускорит операции разгрузки. Порода высыпается в направляющий полый бункер и ссыпается в винтовой конвейер (шнек) диаметром 400мм.

С целью экономии пространства в стесненной монтажной камере шнек расположен между рельсами колеи 600мм. Длина типового шнека по каталогу оборудования — 10м. Порода перемещается шнеком в два контейнера объемом по 10м. Контейнеры заполняются шнеком поочередно, за 10 минут каждый.

После заполнения контейнер краном поднимается на поверхность, разгружается и возвращается для очередного заполнения породой. По выполненным расчетам, производительность шнека диаметром 400мм по тяжелым абразивным материалам (песок и др.) составляет $34\text{м}^3/\text{час}$ или $50\text{т}/\text{час}$, при мощности двигателя 7,9 л.с.

В секции №2, связанной с секцией №1, производится перемещение освобожденной от породы вагонетки, ее подъем и перестановка на соседний путь для формирования очередного состава под погрузку.

Разгрузка породы в секции №1 может осуществляться как непосредственно из вагонеток УВГ-1,6, так и из съёмных кузовов вагонеток такого типа.

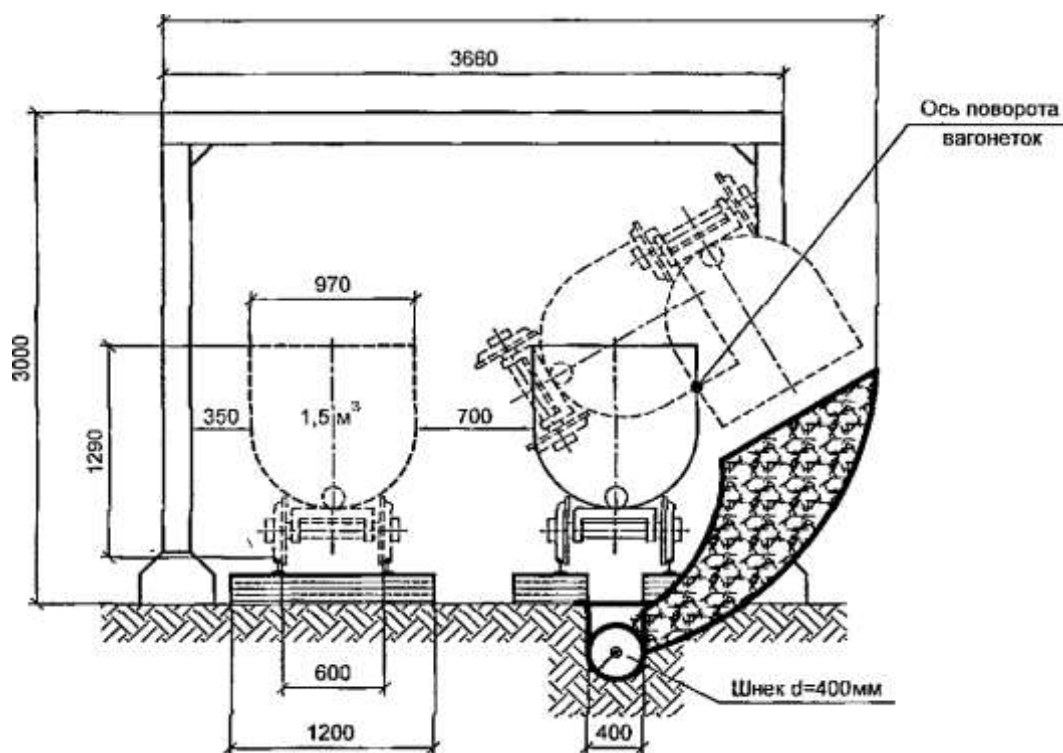


Рис. 3.11. Расположение в монтажной камере секции №1 для разгрузки вагонеток УВГ-1,6 со шнеком в металлическом коробе диаметром 400мм

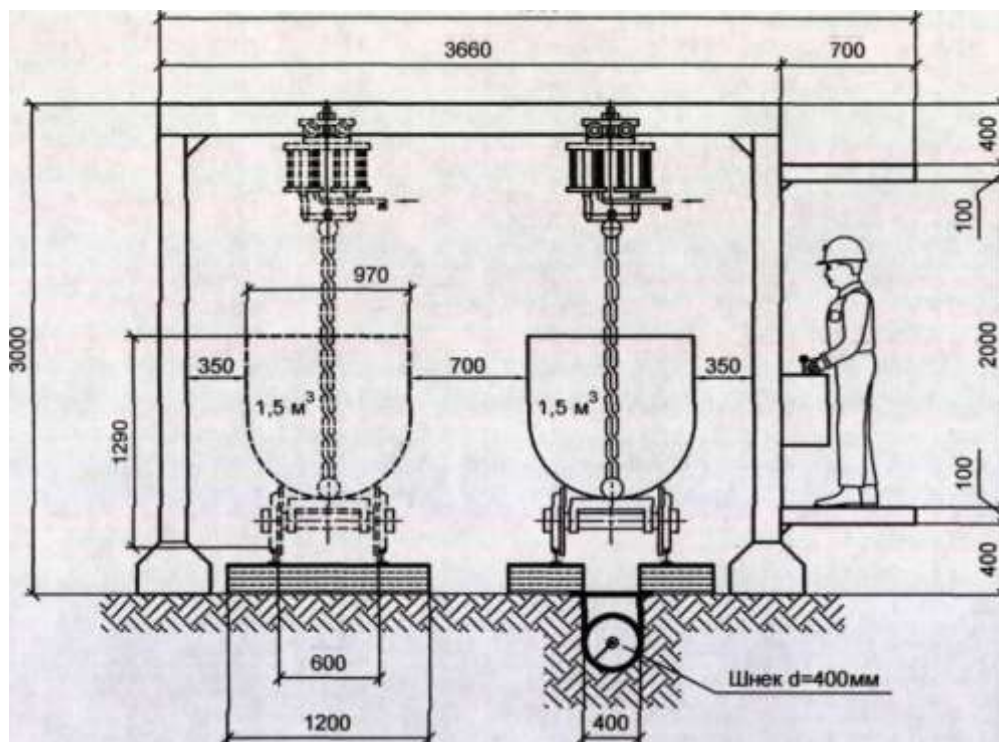


Рисунок 3.12 – Расположение секции №2 в монтажной камере для перемещения свободных от породы вагонеток и формирования составов под погрузку

Разгрузка контейнеров производится козловым краном на специальную площадку на поверхности у монтажной камеры, с которой порода автопогрузчиком грузится на самосвалы и перевозится к месту отвала.

При проходке смежных перегонных тоннелей, для которых используется единая монтажная камера, оборудование для разгрузки и перемещения вагонеток, состоящее из секций №1 и №2, может в дальнейшем быть использовано в этой же монтажной камере.

Расположение секций №1 и №2 в монтажной камере показано на рис. 3.13.

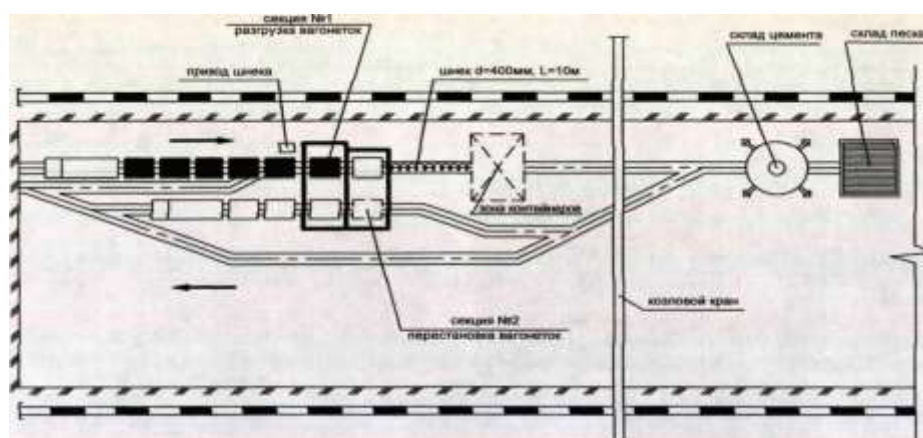


Рис. 3.13. Расположение в монтажной камере секции №1 для разгрузки вагонеток и секции №2 для перестановки вагонеток

При применении предлагаемого оборудования из сборных секций №1 для разгрузки вагонеток и секции №2 для перестановки вагонеток, до 30% сократится время на разгрузку составов с разработанной породой, в сравнении с разгрузкой отдельными вагонетками, и полностью будут механизированы все работы по разгрузке и формированию составов вагонеток под очередную загрузку.

Предлагаемое новое оборудование осуществляет комплексную механизацию погрузо - разгрузочных работ в монтажной камере. Значительно сокращается объем подъемно - транспортных работ (3 контейнера на 1м тоннеля вместо 20 подъемов отдельными вагонетками).

В таблице 3.7 приведены показатели времени погрузо-разгрузочных работ на строительстве перегонного тоннеля Г11МК КТ 1-5,6 с применением предлагаемого к внедрению нового оборудования монтажных камер, где принято ориентировочно время разгрузки составов № 1 и №2 за 40 минут

Расчёты и выбор винтового конвейера (шнека).

Производительность винтового конвейера (С),,, кН/ч; V, м /ч) зависит от диаметра винта О (м), шага винта б (м), числа оборотов винта п (об/мин) и коэффициента наполнения поперечного сечения винта [92]. Весовая производительность винтового конвейера, если y_B (кН/м) - насыпной вес грунта:

$$D_B = U y_B = 60 \frac{8\pi \backslash 1}{y_B C} = \frac{47B^2 8\pi \backslash 1}{y_B C}, \text{кН/ч} \quad (3.26)$$

$$D_B = 47 \times 0,25 \times 0,5 \times 45 \times 0,25 \times 1,5 = 99,1 \text{ кН/ч } (\pm = 66 \text{ м}^3/\text{ч})$$

где - Б = 0,5 м - диаметр винта;

з = 0,5м - шаг винта;

п = 45 - число оборотов винта;

$\backslash /$ = 0,25 - коэффициент наполнения поперечного сечения винта;

y_B = 1,5 - насыпной вес грунта (известняк);

С = 1 - поправочный коэффициент, связанный с углом наклона конвейера.

При меньшем диаметре винта - 0,4м, что соответствует ряду диаметров по ГОСТу 2037-65, производительность винтового конвейера составит $<3 = 42,3 \text{ м}^3/\text{ч}$, обеспечивая разгрузку в монтажной камере разработанной породы в объёме 30м . На рис. 3.14 приведены сравнительные показатели производительности шнеков 400 и 500мм.

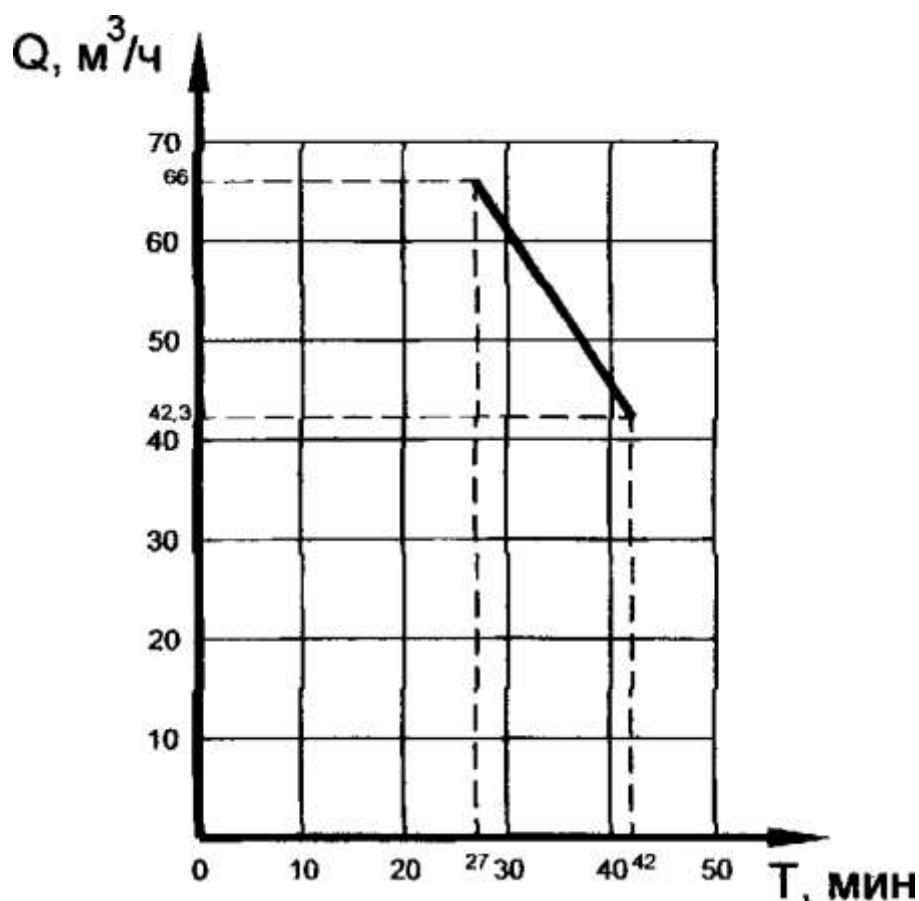


Рисунок 3.14 – Сравнительные показатели производительности шнеков 400 и 500мм

Шнек диаметром 400мм принят за основу для дальнейших исследований. Разгрузка одной вагонетки в монтажной камере составит 2 мин, т.е. составы №1 и №2 из 20 вагонеток могут быть разгружены за 40 минут. Экономия времени на разгрузке породы с применением предлагаемого к внедрению нового оборудования монтажных камер составит 20 минут, в сравнении с существующей разгрузкой породы отдельными вагонетками.

3.6 Исследования и конструктивные предложения по разгрузке породы из монтажных камер к схеме с ТПМК «Херренкнехт», оборудованном конвейерным транспортом разработанной породы при глубине заложения перегонных тоннелей более 12м. Конструктивные предложения к схеме временного применения рельсового транспорта разработанной породы в тоннелях и монтажных камерах для ТПМК, оборудованных конвейерным транспортом

При заложениях перегонных тоннелей более 12м от поверхности, использование подобного отвального конвейера осуществить невозможно из-за большого угла наклона отвального конвейера, на котором грунт не способен

перемещаться. Следует в этом случае решать вопрос дальнейшего транспортирования разработанного грунта из монтажной камеры с магистрального конвейера на поверхность.

В настоящее время по данному вопросу нет эффективного решения в мировой практике строительства тоннелей. Попытка применить ковшевые подъёмники оказались неудачными из-за невозможности транспортировки кондиционированного грунта.

Предлагается для данной схемы применить короткий перебросной конвейер и с его помощью заполнять в монтажной камере вагонетки со съёмным кузовом ёмкостью 12м^3 , входящие в комплект оборудования ТПМК «Херренкнехт», и осуществлять их разгрузку на поверхности. На рис. 3.20, рис. 3.21 представлена предлагаемая к использованию на практике схема расположения оборудования магистрального и отвального конвейеров в монтажной камере.

Для ТПМК «Херренкнехт» цикл проходческих работ составляет 1,4м по ширине обделки тоннеля.

При диаметре ТПМК «Херренкнехт» 6,28м, объём разработанного грунта в целике на один цикл проходки составит:

$$U_{\text{ц}} = 71\pi^2 \cdot 1,4 = 3,14 \cdot (3,14)^2 \cdot 1,4 = 43,3\text{м}^3 \quad (3.27)$$

С учётом разрыхления разработанной породы на один цикл проходки должно быть погружено:

$$U_{\text{р}} = U_{\text{ц}} \cdot K_{\text{р}} = 43,3 \cdot 1,2 = 52\text{м}^3, \quad (3.28)$$

где $K_{\text{р}}$ - коэффициент разрыхления породы, принимается 1,2 (для песчаных, глинистых, суглинистых грунтов).

Грузовая вагонетка, поставляемая в комплекте с ТПМК «Херренкнехт» имеет по характеристике вместимость кузова 12м^3 . При её наполнении при погрузке 90%, объём заполнения вагонетки составит:

$$U_{\text{зв}} = 12 \cdot 0,9 = 10,8\text{м}^3 \quad (3.29)$$

На один цикл работ потребуется:

$$n = U_{\text{р}}/U_{\text{зв}} = 52/10,8 = 5 \text{ вагонеток}$$

Принимая производительность ТПМК «Херренкнехт», оборудованного роторным рабочим органом 1,44м в час, операция по разработке забоя на одну заходку в 1,4м может быть выполнена за 58 минут. Следовательно, каждая вагонетка ёмкостью 12м будет загружена за $58:5=11,6$ минут.

Время монтажа обделки принимается по данным практики её использо-

вания - 30 мин. Магистральный конвейер за это время не работает. Производительность конвейера соответствует производительности ТПМК и составляет 52 м^3 в час.

С магистрального конвейера порода ссыпается в бункер и затем поступает на отвальный конвейер, расположенный под бункером. Далее порода перемещается отвальным конвейером для заполнения вагонеток со съёмным кузовом ёмкостью 12 м.

Вагонетки в монтажной камере располагаются на параллельных путях. Заполнение вагонеток будет осуществляться последовательно, для чего конвейер оборудован специальным шибером, позволяющим заполнять их поочерёдно. Производительность магистрального конвейера позволяет заполнять каждую вагонетку за 11,6 мин. За этот период происходит перемещение по рельсам под зону разгрузки гружёной вагонетки, подъём на поверхность контейнера с этой вагонеткой, освобождение от грунта, спуск контейнера и подготовка вагонетки под следующую погрузку. Последовательность операций по подъёму контейнера с породой ёмкостью 12 м^3 и его разгрузке показана.

Вагонетка длиной 7,1 м, шириной 1,3 м и высотой от головки рельсов 1,9 м оборудована съёмным кузовом, и специальными наварными «пальцами», за которые производится захват вагонетки специальной траверсой, её подъём и разгрузка на поверхности.

В соответствии с формулой 3.30, на один цикл работ, равный 1,4 м, потребуется загрузить и разгрузить в монтажной камере 5 вагонеток Л ёмкостью по 12 м. Такие вагонетки поставляются фирмой «НегепкпесМ» вместе с траверсой для их разгрузки. Откатка вагонеток осуществляется дизельным локомотивом фирмы «8СНОМА».

Как показывает практика работы с разгрузкой вагонеток на поверхности у монтажной камеры, разгрузка осуществляется на специально отведенную площадку, без использования бункеров — накопителей. С бетонированной площадки грунт автопогрузчиками грузится самосвалами для вывоза в отвал (рис. 2.15).

В соответствии с формулой 3.30, на один цикл работ, равный 1,4 м, потребуется загрузить и разгрузить в монтажной камере 5 вагонеток Л ёмкостью по 12 м. Такие вагонетки поставляются фирмой «НегепкпесМ» вместе с траверсой для их разгрузки. Откатка вагонеток осуществляется дизельным локомотивом фирмы «8СНОМА».

Таблица 3.8 – Таблица показателей времени основных операций при максимальной производительности ТПМК на проведении перегонных тоннелей длиной 1600 м по результатам исследований и разработанным новым технологическим схемам

№ п/п	Наименование показателей	Разработанные технические решения схем транспорта для строительства перегонных тоннелей ТПМК		
		КТ1-5,6 с роторным рабочим органом, с перегрузкой породы в монтажных камерах из вагонок в контейнеры	«Херренкнехт» с конвейерным транспортом разработанной породы при заложении тоннелей более 12м	с «Херренкнехт» с конвейерным транспортом разработанной породы при временной невозможности работы конвейера
1	Диаметр тоннеля в черн/в свету	5,63/5,20	6,28/5,10	
2	Скорость разработки забоя роторным рабочим органом	По данным исследований	т, скорость разработки забоя роторным ТПМК принята 1,44 м тоннеля в час	
3	Количество блоков обделки	10 (ширина кольца 1000мм)	7 (ширина кольца - 1400мм)	
4	Цоставка обделки к забою	Контактный электровоз К10 с составом для обделки из 10 блокотюбинговозок	Дизельный локомотив Обделка размещается на двух тележках	
5	Транспортные средства для разработки породы	Два контактных электровоза КЮ, два состава из 10 вагонеток УВГ-1,6	Конвейерный транспорт	Дизельный локомотив. 5 вагонеток по 12м³ со съемным кузовом
6	Ширина колеи и скорость движения составов	Две колеи по 600 мм Максимальная скорость — 10 км/час Для маневров — 5 км/час	Одна колея 900 мм Максимальная скорость — 35 км/час Для маневров — 5 км/час	
7	Время монтажа обделки	50	35	
8	Время разработки забоя на одну заходку, равное времени погрузки породы	42 (заходка — 1 м)	58 (заходка - 1,4 м)	
9	Среднее время движения гружёных составов с породой и порожних	21,0	-	5,5
10	Время разгрузки составов с породой	40		15
11	Средние затраты времени всех операций на одну заходку для КТ-5,6 - 1 м, для «Херренкнехт» — 1,4 м	155	98 (на 1 м - 70)	103,5 (на 1 м - 73,9)
12	Режим работы метростроительных организаций	Работа в две смены по 10 часов		
13	Проходка за сутки	7,84	17,14	16,22

3.7 Расчеты и обоснования параметров оборудования конвейерного транспорта на примере строительства левого перегонного тоннеля от

При проходке ТПМК «Herrenknecht» перегонных тоннелей на участке метрополитена применялось оборудование конвейерного транспорта, разработанного фирмой «H+E Logistik». При реальной производительности ТПМК «Herrenknecht» 60 тонн в час, производительность оборудования использованного конвейерного транспорта составляла 350 тонн в час. Очевидно, фирма «H+E Logistik» для строительства перегонных тоннелей применила оборудование, одновременно используемое для работ на горных предприятиях. Увеличенная мощность двигателей данного оборудования, при работе в ТПМК, будет сопровождаться неоправданно завышенным расходом электроэнергии.

Учитывая, что оборудование конвейерного транспорта закуплено для проходки перегонных тоннелей, целесообразно определить реальные параметры при транспортировке разработанной породы данным конвейером.

Учитывая, что использование зарубежного оборудования конвейерного транспорта при проходке перегонных тоннелей значительно повышает стоимость строительства этих тоннелей, соискателем рассчитана и обоснована возможность использования конвейерного транспорта с применением российского оборудования.

До настоящего времени отсутствует единообразие в методах тягового расчета, от точности которого зависит определение таких важных параметров, как мощность двигателя, прочностные характеристики ленты и т.д. Точность выполненного в каждом конкретном случае расчета, в свою очередь, зависит от правильно принятого значения основной величины, определяющей действующие силы, - коэффициента сопротивления движению ленты по роликоопорам представляющего собой отношение сил вредного сопротивления $\sum W$ при перемещении груза к нормальной составляющей веса суммарно движущихся частей: ленты, груза и роликов. Если $\sum W$ - суммарная весовая погонная нагрузка, B - длина конвейера, то для горизонтального конвейера: IV

Расчетную величину необходимо принимать в зависимости от конструктивных и эксплуатационных факторов.

В ленточном конвейере лента одновременно выполняет функции грузонесущего и тягового органа, и это усложняет задачу при определении сил сопротивления движению. Лента является гибким тяговым элементом, имеющим гибкость как в поперечном, так и в продольном направлениях, поэтому при движении по роликоопорам в ней происходит ряд сложных процессов — лента непрерывно деформируется между роликоопорами, поднимаясь и опускаясь и изменяя при этом свою форму (между опорами желобчатость меньше, чем на опорах). Находящийся на ленте насыпной груз практически повторяет конфигурацию и движение ленты, т.е. также деформируется, причем работа деформации зависит не только от механических свойств груза, но и от скорости деформации.

Еще один вид происходящих в ленте деформаций при движении ее по

роликоопорам обусловлен вдавливанием роликов в обкладку ленты. Величина этих деформаций зависит, главным образом, от толщины и свойств обкладки со стороны качения, диаметра роликов и от структуры каркаса ленты. Что касается сопротивления вращению самих роликов, то эта величина, как известно, зависит от конструкции и состояния подшипниковых узлов, от нагрузки на ролики и скорости их вращения. До недавнего времени считалось, что эти сопротивления составляют основную часть общего сопротивления движению ленты по роликоопорам, однако, экспериментальные исследования последних лет убедительно показали, что это не так. Из анализа этих работ можно заключить, что при перемещении насыпных грузов, таких, как уголь, руда и пр., отдельные составляющие общего коэффициента сопротивления могут распределяться примерно в следующем соотношении, %:

сопротивление от деформирования груза	40-50
сопротивление вращению роликов	20-25
сопротивление вдавливанию роликов в ленту	10-15
сопротивление от изгибов ленты	10-20

Естественно, что указанные процентные соотношения являются весьма ориентировочными, в каждом отдельном случае величина их зависит от свойств груза, длины конвейера, погонной нагрузки, скорости ленты и т. д. Однако из приведенных усредненных данных можно заключить, что сопротивление, затрачиваемое на деформирование груза, является одним из основных слагаемых в общей величине сопротивления при движении ленты с грузом. Этим отчасти объясняется тот факт, что тяговые расчеты, выполненные по общеизвестным методикам, без учета влияния и изменения данной составляющей сопротивления, не всегда подтверждаются на практике. Характерно, что в разрабатываемых в последнее время методиках влияние этой составляющей на значение учитывается все более детально.

Кроме указанных факторов на коэффициент сопротивления влияют условия эксплуатации конвейера, качество монтажа и температура окружающей среды, которые также необходимо учитывать в расчетах.

Существующие расчетные методики отличаются друг от друга в основном тем, какие факторы и в какой степени учитываются при принимаемых в расчетах значениях коэффициента сопротивления. По этому признаку их можно разбить на три группы.

В расчетах первой группы пользуются обобщенными коэффициентами сопротивления, принимаемыми только в зависимости от места работы и состояния конвейера.

В расчетах второй группы величина коэффициента сопротивления непосредственно не определяется, а рассчитываются величины сил сопротивления на одну роликоопору, которые затем суммируются. В них учитывается конструкция подшипникового узла роликов, температура, скорость ленты и длина конвейера (с которой связана величина натяжения ленты).

В расчетах третьей группы значение коэффициента сопротивления считается зависящим от его большого числа факторов, а именно: от конструкции

подшипниковых узлов роликов, величины погонной нагрузки, расстояния между роlikоопорами, температуры окружающей среды, натяжения ленты, рода перемещаемого груза, угла наклона конвейера и т.д. Для возможности учета столь многочисленных факторов используются полученные экспериментальным путем многочисленные таблицы и графики.

Основное, что характеризует новые, предложенные в последние годы методики расчетов, - это стремление их авторов возможно полнее и точнее отразить в принимаемой величине коэффициента сопротивления λ физическую сущность явлений, сопровождающих движение гибкой натянутой ленты по поддерживающим ее роликам.

Рассмотрим некоторые наиболее интересные результаты экспериментальных исследований последних лет.

Так, в работе отмечается, что большая часть мощности привода горизонтальных ленточных конвейеров расходуется на преодоление сил сопротивления, вызываемых деформацией ленты и транспортируемого груза. Особенно существенных величин эти сопротивления достигают на мощных конвейерах. Исследование сопротивления от деформирования груза производилось на специальном стенде, имитирующем ленточный конвейер производительностью до 16000 т/час, с шириной ленты 2200 мм. Толщина верхней и нижней обкладок резинокросовой ленты 8 мм, диаметр роликов 190 мм.

Установленными на стенде датчиками замерялись сопротивления движению и его отдельные составляющие в зависимости от натяжения ленты, погонной нагрузки, угла наклона боковых роликов, скорости ленты и расстояния между роlikоопорами. При измерении нормального давления на средние ролики установлено, что его величина в значительной степени изменяется в зависимости от угла наклона боковых роликов ρ . Результаты этих исследований представлены на рис.

Увеличение нормального давления на боковые ролики с увеличением угла их наклона вызвано тем, что к нормальной составляющей от веса груза добавляется горизонтальная составляющая давления груза (согласно механике сыпучих грузов, тем большая, чем больше угол наклона роликов ρ). Кроме того, увеличение силы нормального давления с увеличением угла наклона боковых роликов объясняется связью со взаимным перемещением слоев транспортируемого груза в поперечном направлении при прохождении лентой роlikоопоры.

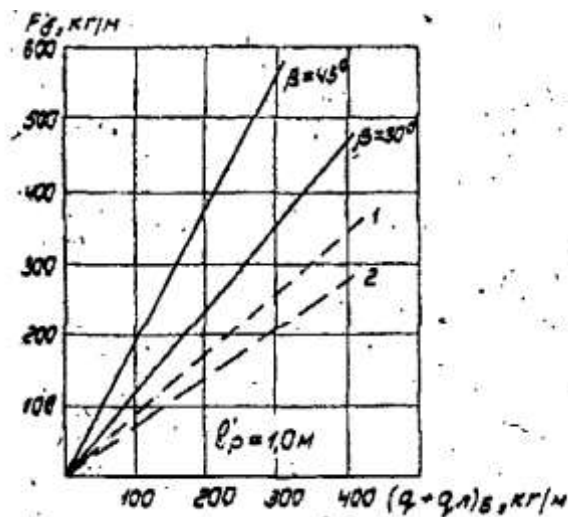


Рис. 3.15 - Зависимость нормального давления на боковые ролики от угла их наклона (здесь и далее на рисунках q_r обозначается через q)

Считая с некоторым приближением ленту конвейера абсолютно гибкой нитью, для определения коэффициента прогиба ее между средними роликами обычно использовали следующую формулу:

Однако проведенные экспериментальные исследования зависимости коэффициента прогиба ξ от нагрузки (рис. 3.15) выявили значительные отклонения результатов, полученных экспериментально и путем вычисления по приведенной выше формуле

Отклонение экспериментальных значений коэффициента прогиба ξ от расчетных объясняется следующими причинами:

а) кроме прогиба между средними роликами, измеряемого в процессе исследования, существует прогиб между боковыми роликами, который оказывает влияние на измеряемый; б) наряду с продольным прогибом ленты наблюдается прогиб поперечный; в) благодаря желобчатой форме жесткость ленты увеличивается с ростом нагрузки; г) установленное ранее увеличение нормального давления на средние ролики с увеличением угла наклона боковых роликов объясняет больший прогиб ленты при $\beta = 30^\circ$.

Измеренную силу сопротивления движению ленты авторы разделяют на две составляющие: силу сопротивления от вращения роликов $i_{вр}$ и силу сопротивления от деформирования ленты и груза $i_{дсф}$. Последнюю составляющую определяют вычитанием из общей силы сопротивления силы сопротивления от вращения роликов.

4 Технико-экономические аспекты строительства перегонных тоннелей Алматинского метрополитена

4.1 Методика технико-экономического анализа строительства

Разработка «Обоснований инвестиций...» и рабочих проектов Алматинского метрополитена осуществляется Агентством РК по делам строительства и жилищно-коммунального хозяйства. Последовательность работ по разработке «Обоснования инвестиций...» выполняется в соответствии

СНиП – строительные нормы и правила;

СНиП РК 1.03-26-2004 «Геодезические работы в строительстве»;

ГОСТ 24846–81 ГРУНТЫ. Методы измерения деформаций оснований зданий и сооружений;

СНиП 2.01.07-85 «Нагрузки и воздействия»;

СНиП РК 5.04-18-2002 «Металлические конструкции»;

СНиП РК 5.01-01-2002 «Основания зданий и сооружений»;

СН РК 1.04.04-2002 Обследование и оценка технического состояния зданий и сооружений / Астана

После утверждения «Обоснования инвестиций...», в соответствии с СНиП разрабатывается рабочая документация.

Сметная стоимость строительства перегонного тоннеля составляется в соответствии с «Методикой определения стоимости строительной продукции на территории РК», по которой сметная документация состоит из локальных смет, локальных сметных расчётов, сметных расчётов на отдельные виды работ, сводных сметных расчётов стоимости строительства, сводок затрат и др., с учётом местных условий строительства региона.

Сметная стоимость складывается из суммы затрат на выполнение строительных и монтажных работ, включая стоимость материалов, конструкций и оборудования, суммы накладных расходов, плановых накоплений и прочих затрат. Утверждённая сметная стоимость представляет собой конечную цену строительной продукции. Она имеет то же значение, что и государственные отпускные цены на продукцию промышленности.

Структура стоимости и трудоёмкости тоннельного строительства включает в себя показатели всей номенклатуры отдельных операций, входящих в технологию сооружения тоннеля, каждая из которых может подразделяться на смысловые подгруппы

1. Общая характеристика объекта строительства:

- категория пород;
- глубина заложения;
- высота насыпки (для открытой части);
- водообильность пород.

2. Материал конструкции.

3. Тип конструкции.

4. Способы сооружения:

- открытый или закрытый;
 - способы проходки (разработки грунта);
 - способы возведения обделки.
5. Способы водоподавления.
6. Организация работ:
- количество одновременно работающих забоев;
 - дальность возки грунта;
 - скорость проходки.

Важнейшим направлением научно-технического прогресса в строительстве метрополитенов является индустриализация строительного производства. Она представляет собой процесс превращения строительства в индустриальную (промышленную) отрасль производства, аналогичную крупной машинной индустрии. Этот процесс происходит на основе внедрения современной машинной техники в строительное производство и создания высокоразвитой технической базы.

Производство заводским способом строительных деталей, конструкций и узлов, комплексная механизация при монтаже их на строительной площадке - таковы основные черты индустриализации строительства, обуславливающей внедрение новых, более совершенных форм организации производства, труда и управления, которые не могли существовать ранее. В то же время происходит процесс типизации и стандартизации строительства, специализации строительных и монтажных организаций.

Применение сборных конструкций сооружений - одна из главных черт индустриализации транспортного строительства. Сборными конструкциями называют укрупнённые элементы и детали сооружений, изготовленных вне строительной площадки — на заводах, полигонах и передвижных предприятиях. К сборным конструкциям относятся укрупнённые элементы, требующие только сборно-монтажных работ и, прежде всего, обделки перегонных тоннелей.

Для технико-экономической оценки степени сборности строительства применяется несколько показателей. Строительными нормами и правилами рекомендуется определять уровень индустриализации строительства $Y_{\text{и}}$ как отношение сметной стоимости сборных элементов $C_{\text{сб}}$ к сметной стоимости всех строительных материалов C , включая и эти сборные элементы, т.е.:

$$Y_{\text{и}} = C_{\text{сб}}/C \cdot 100 \quad (4.1)$$

где: $Y_{\text{и}}$ - уровень индустриализации, %;

$C_{\text{сб}}$ - стоимость сооружения с применением сборных конструкций (секций, блоков, элементов, тубингов) заводского изготовления;

C - общая стоимость сооружения (перегонного тоннеля).

Применение сборных конструкций заводского изготовления обделок тоннеля резко увеличивает производительность труда в строительстве и обес-

печивает большое ускорение строительных работ. Это достигается в результате того, что на строительной площадке взамен трудоёмких процессов осуществляется механизированный монтаж сборных элементов, кроме того, устраняется сезонность работ в связи с перенесением многих операций в заводские условия. Внедрение сборных конструкций приводит к снижению сметной стоимости и себестоимости строительно-монтажных работ, а также к повышению качества и долговечности сооружаемых объектов.

Важными элементами индустриализации транспортного строительства являются механизация и автоматизация строительных и монтажных процессов.

Механизация строительства характеризуется степенью замены ручного труда при производстве строительно-монтажных работ машинами. Она обеспечивает повышение производительности труда, ускорение строительства объектов (в данном случае перегонных тоннелей), снижение себестоимости работ и, кроме того, коренным образом улучшает и облегчает условия труда.

Дальнейшее развитие механизации обеспечивает внедрение комплексной механизации и автоматизации строительно-монтажных работ. При комплексной механизации все трудоёмкие основные и вспомогательные процессы выполняются комплектом строительных машин. Автоматизация характеризуется тем, что все рабочие функции и функции управления определёнными операциями или производственным процессом в целом осуществляется при помощи автоматических устройств и приборов.

Уровень механизации тоннельных работ определяется по формуле:

$$U_m = C_m / C \cdot 100 \quad (4.2)$$

где- U_m - уровень механизации, %;

C_m - стоимость работ, выполняемых механизированным способом;

C - общая стоимость сооружения (тоннеля).

Степень оснащённости строительной организации и рабочих средствами механизации определяют показателями механовооружённости труда и строительства, а также энерговооружённости и электровооружённости рабочих.

Механовооружённость труда определяется как отношение балансовой стоимости машин и оборудования к численности рабочих, занятых в строительстве, т.е.:

$$U_{mb.t} = C_m / Ч_p \quad (4.3)$$

где- $U_{mb.t}$ - уровень механовооружённости труда;

C_m - среднегодовая стоимость машин и оборудования;

$Ч_p$ - среднесписочная численность рабочих.

Энерговооружённость рабочих определяется как отношение мощности двигателей всех машин, имеющих в данной строительной организации, к

списочной численности рабочих:

$$Y_{\text{эн}} = \frac{M}{\text{Ч}} \quad (4.4)$$

где: $Y_{\text{эн}}$, - уровень энерговооружённости в л.с./чел. или кВт/чел.;

M - среднегодовая мощность двигателей всех машин в л.с. или кВт;

Ч - среднесписочная численность рабочих, занятых в строительстве.

Выработка на одного рабочего в день определяется путём деления полной сметной стоимости объекта (перегонного тоннеля) по сводному сметно-финансовому расчёту на общее количество рабочей силы в человеко- днях.

Технический уровень и экономичность разрабатываемых проектов, включая перегонные тоннели, оцениваются рядом технико-экономических показателей, включённых в сводные показатели проекта метрополитена как в «Обоснования инвестиций...», так и в состав рабочего проекта:

- Стоимость строительства.
- Протяжённость сооружения (м).
- Объём работ:
 - выемка грунта и породы (м^3);
 - установка железобетонных конструкций (м^3);
 - установка чугунных тубингов (м);
 - укладка бетона и железобетона в обделку тоннеля (м^3).
- Продолжительность строительства (мес.).
- Трудоёмкость строительства (чел.-дни).
- Уровень индустриализации строительства (%).
- Уровень механизации (%).
- Уровень механовооружённости труда.
- Уровень энерговооружённости.
- Выработка на одного рабочего в день.

4.2. Исследования экономической эффективности и оценки скоростной проходки перегонных тоннелей метрополитенов

Сокращение сроков, более быстрый ввод в действие комплекса подземных сооружений метрополитена является одной из главных задач строительства. Сокращение сроков строительства перегонных тоннелей, которые являются основными сооружениями метрополитенов, повышает эффективность капиталовложений, способствует ускорению темпов экономического развития и быстреей окупаемости капиталовложений, при этом более эффективно используется оборудование и уменьшаются накладные расходы.

Общий объём капитальных вложений непосредственно в сооружение метрополитена складывается из затрат на строительство постоянных устройств и затрат на подвижной состав, т.е. определяется по формуле:

$$K_m = K_{\text{пум}} + K_{\text{пач}} \quad (4.5)$$

При определении величины расчётной стоимости необходимо учитывать влияние фактора времени на наличие инфляционных процессов в экономике России. Так, объём капитальных вложений на строительство перегонных тоннелей, определённый в локальной смете как расчётная строительная стоимость перегонных тоннелей на момент начала строительства метрополитена, должен быть повышен в связи с инфляционными процессами в экономике страны, и на момент строительства требуемый объём капитальных вложений определяется по формуле:

$$K_{tm} = \sum_{t=1}^{t=tc} K_{tm} \cdot \left(1 + \frac{i}{100}\right)^{tj} \quad (4.6)$$

где: K_{tm} - размер капитальных вложений в перегонные тоннели

i - годовой инфляционный процент;

tj - порядковый номер года от момента начала строительства;

tc - продолжительность строительства в годах.

Капитальные вложения на момент завершения строительства перегонных тоннелей с учётом уплаты процентов за пользование банковскими кредитными ресурсами в период выполнения строительных работ определяется по формуле:

$$K_m^b = \sum_{t=1}^{t=tc} K_{tm} \cdot \left(1 + \frac{i}{100}\right)^{tj} (1 + E_{\text{нп}})^{tc-tj} \quad (4.7)$$

Где $E_{\text{нп}}$ - процент за пользование банковскими кредитными ресурсами.

В связи с тем, что в нормах продолжительности строительства предприятий, зданий и сооружений срок ввода в действие (продолжительность строительства) для метрополитенов не разработан, продолжительность строительства перегонных тоннелей определяется в «Обоснованиях инвестиций...» и уточняется в рабочем проекте.

Оценка стоимости и трудоемкости тоннельного строительства сопровождается учетом показателей всей номенклатуры операций, входящих в технологию сооружения тоннеля.

Сокращение сроков строительства перегонных тоннелей, которые являются основными сооружениями метрополитенов, повышает эффективность капиталовложений, способствует ускорению темпов экономического развития и быстрой окупаемости капиталовложений, при этом более эффективно используется оборудование и уменьшаются накладные расходы. При определении расчетной стоимости необходимо учитывать влияние фактора времени.

В качестве примера оценки возможного экономического эффекта от ускорения проведения перегонных тоннелей в диссертации рассмотрено проведение тоннеля на перегоне линии Алматинского метрополитена.

В рабочем проекте установлена скорость проведения тоннеля $V_{р.п.}=300\text{м/мес.}$ Фактическая скорость проведения тоннеля $V_{ф.}=600\text{м/мес.}$

Ожидаемый экономический эффект

$$\mathcal{E} = (K_{р.п.} \cdot L - K_{ф.} \cdot L) + \mathcal{E}_{с.с.} \quad (4.8)$$

где $K_{р.п.} = 1,5$ млн. тг. — установленная рабочим проектом стоимость 1м тоннеля;

$K_{ф.} = 0,952$ млн. тг. — фактическая стоимость 1м тоннеля;

$L = 1600\text{м}$ — длина перегонного тоннеля;

$\mathcal{E}_{с.с.}$ — дополнительный эффект от сокращения строительства (прибыль от досрочной сдачи в эксплуатацию), млн. тг.:

$$\mathcal{E}_{с.с.} = Q_{п.п.} \cdot \Pi \cdot T_{доп} \quad (4.9)$$

где $Q_{п.п.} = 105$ тыс. чел. в сутки - посадка пассажиров на перегон по рабочему проекту;

$\Pi = 40$ тг. - прибыль за счет проезда пассажиров (при стоимости одного билета 80 тг., 50% идет на эксплуатационные расходы, поэтому прибыль с одного билета составляет 40 тг.);

$T_{доп.}$ - дополнительный эффект от ускорения строительства, сут.:

$$T_{доп.} = T_{р.п.} - T_{ф., \text{сут.}}, \quad (4.10)$$

где $T_{р.п.} = 160$ сут. — установленное рабочим проектом время проведения перегонного тоннеля;

$T_{ф.} = 80$ сут. - фактическое время проведения перегонного тоннеля;

$T_{доп.}=160 - 80 = 80$ сут.

Дополнительный эффект от сокращения строительства

$$\mathcal{E}_{с.с.}=105000 \cdot 40 \cdot 80=336 \text{ млн. тг.}$$

Таким образом, ожидаемый экономический эффект за счет ускорения проведения тоннеля на перегоне 1 линии Алматинского метрополитена

$$\mathcal{E}=(1,5 \cdot 1600 - 0,952 \cdot 1600) + 336 = 1 \text{ млрд } 212,4 \text{ млн. тг.}$$

4.3. Выводы по главе.

1. Даны расчёты оценки эффективности от скоростной проходки перегонных тоннелей.

Ожидаемый экономический эффект за счет ускорения проведения тоннеля на перегоне линии Алматинского метрополитена по результатам оценки составит 1 млрд 212,4 млн. тг.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение задачи по обоснованию и разработке технологических схем проведения перегонных тоннелей метрополитенов с использованием системы комбинированного транспорта, обеспечивающей повышение темпов и снижение сроков строительства, имеющей существенное значение для строительной геотехнологии.

Основные научные выводы и практические результаты, полученные лично автором, заключаются в следующем:

1. В результате анализа отечественного и зарубежного опыта в области разработки и реализации проектов строительства перегонных тоннелей метрополитенов рекомендуется использование высокопроизводительных Г11МК с роторными рабочими органами, которые позволят осуществлять проведение тоннелей в различных гидрогеологических условиях.

2. В результате хронометражных замеров производительности ТПМК «Херренкнехт», оборудованного роторным рабочим органом, на строительстве левого перегонного тоннеля от ст. Кунцевская до ст. Парк Победы на 40 пикетах - по 10 пикетов в зонах суглинков, супесей, глин и известняков - сделан вывод о том, что максимальная производительность ТПМК, оборудованных роторными рабочими органами достигается при проходке в зоне суглинков и составляет 1,44 м тоннеля в час. Этот показатель рекомендуется принимать для обоснования и разработки высокопроизводительных технологических схем проведения перегонных тоннелей с использованием системы комбинированного транспорта.

3. В ходе исследования определено, что при проведении перегонных тоннелей отечественными ТПМК основными сдерживающими факторами их производительности являются продолжительность процесса монтажа обделки и разгрузки разработанной породы отдельными вагонетками в 205 монтажных камерах. Рекомендуется использование разработанной высокопроизводительной технологической схемы перегрузки породы в монтажных камерах из отдельных вагонеток в объемные контейнеры, в которых осуществляется их разгрузка, что позволит сократить более чем на 30% время разгрузки и формирования очередных составов под погрузку.

4. В результате проведенных исследований установлено, что при применении конвейерного транспортирования разработанной породы в настоящее время нет решения по разгрузке грунта из монтажных камер при глубине заложения тоннелей более 12 м. Для решения этой задачи разработана высокопроизводительная технологическая схема с использованием рельсового транспорта и применением в монтажной камере короткого перебросного конвейера, заполняющего вагонетки-контейнеры вместимостью 12 м³.

5. В ходе исследования определено, что при разработке вязких и водонасыщенных грунтов использование современного внутритоннельного кон-

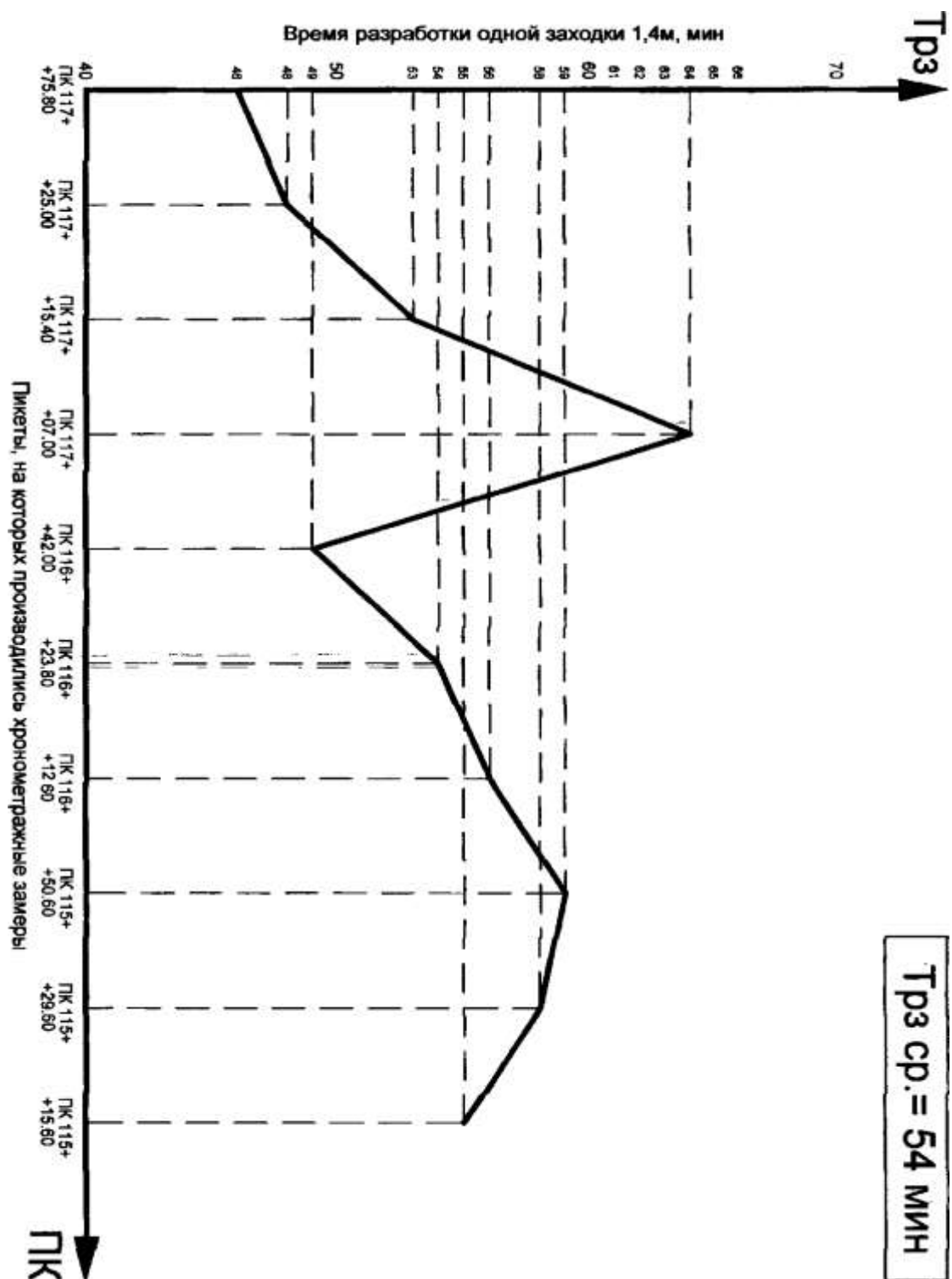
вейерного транспорта невозможно. Рекомендуется разработанная высокопроизводительная технологическая схема с использованием рельсового транспорта с вагонетками-контейнерами вместимостью 12м^3 .

6. На основании анализа экспериментальных исследований, результаты которых использованы в современном методе тягового расчета, обоснованы основные параметры ленточного конвейера.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Балабаев Б.С., Ким А.С. (2015). Технология и оборудование для строительства тоннелей. Алматы: Самрук-Казына.
- 2 Горные работы в строительстве подземных сооружений. Национальный стандарт Казахстана, 2018.
- 3 Ким А.С., Балабаев Б.С. (2017). Оптимизация технологических решений при строительстве тоннелей метрополитена. Вестник Казахстанской национальной академии железных дорог, 3(63), 68-72.
- 4 Константинов А.В., Харламов А.А. (2017). Горные работы в строительстве подземных сооружений. Москва: Феникс.
- 5 Лесной А.С., Ким А.С. (2018). Анализ и выбор технологии строительства перегонных тоннелей метрополитена. Вестник Казахстанской национальной академии железных дорог, 1(65), 67-70.
- 6 Лесной А.С., Ким А.С. (2019). Расчет параметров технологии проходки тоннелей метрополитена. Вестник Казахстанской национальной академии железных дорог, 4(68), 55-58.
- 7 Новоавстрийский метод в строительстве тоннелей: Руководство. Международная Ассоциация метрополитенов (МAM), 2011.
- 8 Rock Mechanics and Rock Engineering. Springer.
- 9 Austrian Society for Geomechanics (ÖGG) - www.oegg.or.at
- 10 International Tunnelling Association (ITA) - www.ita-aite.org
- 11 Bieniawski, Z.T. (1989). Engineering Rock Mass Classifications. Wiley.
- 12 Зубарев В.Н., Шестопалов В.М. (2012). Технология строительства тоннелей в горах. Алматы: Казахстанская академия транспорта и коммуникаций им. М.Тынышпаева.
- 13 Каримов М.С., Жакупов Р.Ж., Бегалиев Ж.К. (2016). Технология и оборудование для строительства тоннелей метрополитена. Алматы: Казахстанская научно-исследовательская конструкторно-технологическая академия.
- 14 Амиров Ж.Ш., Алишев С.Р., Исабаев Ж.А. (2012). Горные работы в строительстве тоннелей. Алматы: Издательство Казахского национального университета им. Аль-Фараби.

ПРИЛОЖЕНИЕ А



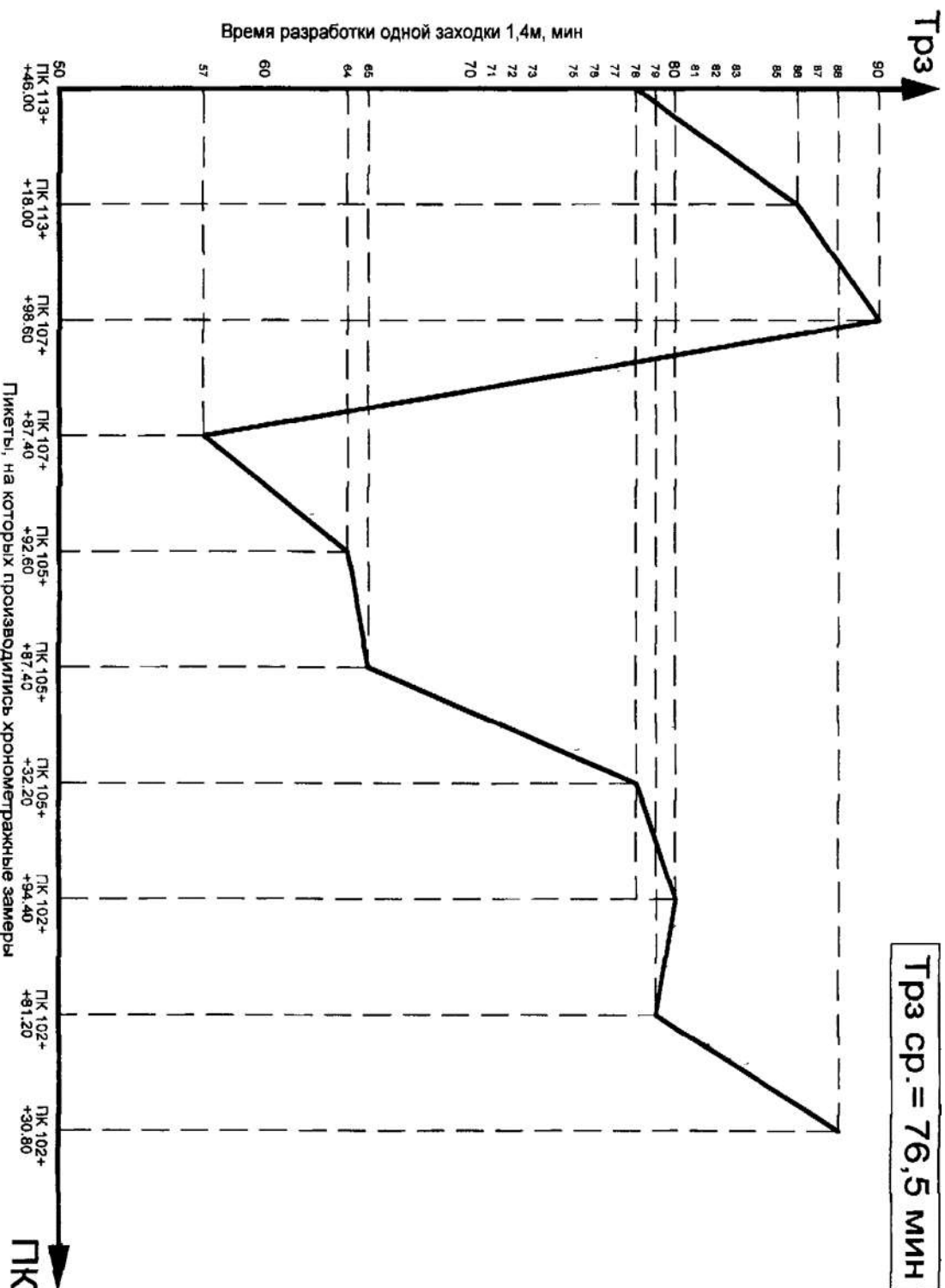


Рис. 3.6. График производительности ТПМК "Нетепкпесч" при прохожде в сулесах по результатам хронометражных замеров на строительстве перегона "Кунцевская" - "Парк Победы" Митинско - Строгинской линии Московского метрополитена.

